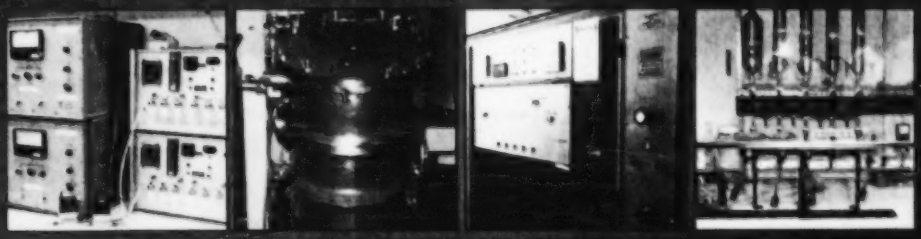
L'organisme de réglementation nucléaire du Canada

Évaluation des installations de manipulation du tritium

Volet du projet d'études sur le tritium

INFO-0796



Février 2010

Commission canadienne de sûreté nucléaire
Canadian Nuclear Safety Commission

Canada

Évaluation des installations de manipulation du tritium

© Ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2010
Numéro de catalogue CC172-55/2010F-PDF
ISBN 978-1-100-93763-2

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN)
Numéro de catalogue de la CCSN : INFO-0796

La reproduction d'extraits du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition que la source soit indiquée en entier. Toutefois, sa reproduction en tout ou en partie à des fins commerciales ou de redistribution nécessite l'obtention préalable d'une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Also available in English under the title: *Evaluation of Facilities Handling Tritium*

Disponibilité du document
Les personnes intéressées peuvent consulter le document sur le site Web de la CCSN à suretenucleaire.gc.ca, ou en commander des exemplaires, en français ou en anglais, en communiquant avec la :

Commission canadienne de sûreté nucléaire
280, rue Slater
C.P. 1046, Succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

Téléphone : (613) 995-5894 ou 1-800-668-5284 (Canada seulement)
Télécopieur : (613) 995-5086
Courriel : info@cnsc-ccsn.gc.ca
Site web : suretenucleaire.gc.ca

Images de la page couverture (de gauche à droite) :

1. Un **barboteur** sert à mesurer le tritium dans l'air.
2. Dans un **appareil de récupération du tritium**, les tubes de verre de sources lumineuses au tritium gazeux sont écrasés et le tritium est récupéré.
3. Un **appareil de remplissage** est utilisé pour remplir les tubes de verre avec du tritium gazeux dans une installation de sources lumineuses au tritium gazeux.
4. Un **appareil de diffusion** répartit le tritium d'un contenant Amersham de type courant dans de plus petits lits d'adsorption.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE 1
1 INTRODUCTION 4
1.1 Projet d'études sur le tritium 4
1.2 Meilleures pratiques concernant la manipulation du tritium gazeux 5
1.3 Objectifs et portée 5
1.4 Méthodes d'examen des meilleures pratiques 6
2 RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES SUR LE TRITIUM 7
2.1 Le tritium 7
2.2 Propriétés du tritium gazeux 7
2.3 Composés chimiques contenant du tritium 7
3 LA TECHNOLOGIE ET L'EXPÉRIENCE CANADIENNE 8
3.1 Hydrogène et technologie du vide 8
3.2 Installation de détritiation de Darlington 9
3.2.1 Conception 9
3.2.2 Confinement primaire 9
3.2.3 Contrôle de la contamination 10
3.2.4 Confinement secondaire 10
3.2.5 Contrôle de la ventilation et des rejets 10
3.2.6 Stockage du tritium 11
3.3 Laboratoire de tritium de Chalk River (EACL) 12
3.3.1 Description de la boîte à gants employée dans le traitement du tritium 12
3.3.2 Confinement primaire 12
3.3.3 Confinement secondaire 12
3.3.4 Nettoyage de la boîte à gants 13
3.3.5 Pompes à vide 13
3.3.6 Stockage du tritium 13
3.3.7 Rejets dans l'environnement 14
3.4 SRB Technology 15
3.4.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium 16
3.4.2 Conception et évolution 16
3.4.3 Confinement 16
3.4.4 Ventilation et rejets dans l'environnement 17
3.5 Shield Source Incorporated 18
3.5.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium 18
3.5.2 Conception 18
3.5.3 Confinement 19
3.5.4 Ventilation 19
3.6 Kinectrics Incorporated 20
3.6.1 Expérience de la manipulation du tritium 20
3.7 GE Hitachi Nuclear Energy Canada Inc. 22
3.7.1 Principes de conception de l'usine de tritium 22

4 EXPÉRIENCE DE LA MANIPULATION DU TRITIUM DANS D'AUTRES PAYS 23
4.1 GE Healthcare Ltd. 23
4.1.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium 23
4.1.2 Conception 24
4.1.3 Confinement 24
4.1.4 Ventilation 24
4.1.5 Rejets dans l'environnement 25
4.2 Installation de séparation du tritium de GE Healthcare 26
4.2.1 Description de l'équipement de récupération du tritium 26
4.2.2 Conception 26
4.2.3 Ventilation 27
4.2.4 Rejets dans l'environnement 27
4.3 NTP Radioisotopes (Pty) Ltd 28
4.3.1 Description de l'équipement de récupération du tritium 28
4.3.2 Conception 29
4.3.3 Confinement 30
4.3.4 Ventilation 30
4.3.5 Rejets dans l'environnement 30
4.4 Mb-Microtec AG 31
4.4.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium 31
4.4.2 Conception 32
4.4.3 Confinement 32
4.4.4 Ventilation 32
4.4.5 Rejets dans l'environnement 33
5 EXAMEN DES MEILLEURES PRATIQUES 34
5.1 Confinement 34
5.2 Lits d'adsorption à double paroi 34
5.3 Pompes à vide 36
5.4 Technologie du vide 37
5.5 Pertes dues aux fuites 37
5.6 Pertes dues à la purge des canalisations 38
5.7 Réduction des émissions 38
5.8 Ventilation 39
5.9 Conception des points de rejet 39
5.10 Récupération du tritium 40
5.11 Stockage du tritium 40
5.12 Mesure du rendement 40
5.13 Rejets de tritium dans les égouts 41
6 CONCLUSION 42
7 GLOSSAIRE 43
8 BIBLIOGRAPHIE 48
9 REMERCIEMENTS 49

SOMMAIRE

En janvier 2007, le tribunal de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a ordonné au personnel de la CCSN d'entreprendre des recherches sur les rejets de tritium au Canada. Le personnel de la CCSN a donc entrepris un projet d'« Études sur le tritium » prévoyant plusieurs activités de recherche et de compilation d'information qui devraient se poursuivre jusqu'en 2010. L'objectif de ce projet est de compléter l'information disponible pour guider la surveillance réglementaire de la transformation du tritium et des rejets de cette substance au Canada. Le document « Évaluation des installations de manipulation du tritium » *s'inscrit dans ce projet.*

Le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène, est présent à l'état naturel ou comme sous-produit des réacteurs nucléaires et des installations de traitement du tritium. Il peut comporter des risques pour la santé s'il est incorporé soit par ingestion (eau potable ou aliments), par inhalation ou par absorption cutanée.

Dans le présent rapport, le personnel de la CCSN a compilé et évalué des conceptions d'installation et des technologies antipollution employées par les titulaires de permis canadiens qui rejettent du tritium dans l'environnement, et les a comparées aux meilleures pratiques associées à des installations semblables à l'extérieur du Canada. Plus particulièrement, le présent rapport :

- précise les meilleures pratiques de manipulation et de contrôle du tritium au Canada
- évalue le rendement en matière d'exploitation des producteurs, transformateurs et principaux utilisateurs canadiens de tritium
- compare les pratiques d'exploitation des titulaires de permis d'installations de traitement du tritium canadiens aux meilleures pratiques de l'industrie

L'évaluation des installations canadiennes visait six titulaires de permis qui produisent ou traitent du tritium, ou qui gèrent des déchets de tritium :

- L'installation de détritiation de Darlington (la plus grande installation de manipulation du tritium au Canada)
- Le Laboratoire de tritium de Chalk River, propriété d'Énergie atomique du Canada limitée (qui fournit du tritium aux utilisateurs de tritium d'Ontario Power Generation)
- SRB Technologies (installation de production de sources lumineuses au tritium gazeux)

- Shield Source Inc. (fabricant de sources lumineuses au tritium gazeux)
- Kinectrics Inc. (société de conception technique qui réalise des travaux de développement sur le tritium)
- GE Hitachi Nuclear Energy Canada Inc. (qui travaille actuellement à la conception d'une installation de détritiation)

Trois installations ont également été visitées à l'étranger :

- Royaume-Uni : GE Healthcare Ltd. (installation de récupération du tritium)
- Afrique du Sud : NTP Radioisotopes (Pty) Ltd. (installations de production de radio-isotopes et de sources lumineuses au tritium gazeux)
- Suisse : Mb-Microtec AG (installation de fabrication de sources lumineuses au tritium gazeux)

Résultats de l'étude
Les résultats font l'objet d'un examen détaillé dans le rapport et sont répartis dans les treize (13) catégories suivantes : confinement, lits d'adsorption à double paroi, pompes à vide, technologie du vide, pertes dues aux fuites, pertes dues à la purge des canalisations, réduction des émissions, ventilation, conception du point de rejet, récupération du tritium, stockage du tritium, mesure du rendement et rejet dans les égouts.

La conclusion générale du rapport est que les pratiques canadiennes actuelles sont comparables à celles qui prévalent à l'étranger. Une gestion efficace du tritium comprend le recours à divers mécanismes et à des stratégies bien adaptées qui permettent de bien contrôler les concentrations de tritium par divers mécanismes.

Au Canada, il serait possible de mettre sur pied des mécanismes de mesure du rendement qui exigent des titulaires de permis qu'ils signalent le pourcentage de pertes dans l'environnement et dans les transferts vers les installations de gestion des déchets. Ceux-ci pourraient compléter les mécanismes réglementaires de mesure du rendement déjà en place qui sont basés sur le signalement des doses reçues par les travailleurs et par le public. Dans le cas des nouvelles installations, la mesure du rendement pourrait être utilisée comme paramètre de conception.

Les conclusions du présent rapport, suite à l'observation des meilleures pratiques, sont les suivantes. On devrait :

1. Utiliser de l'équipement à vide de haut rendement pour la manipulation du tritium gazeux.

2. Se concentrer sur la qualité du confinement, c-à-d. maintenir une installation pratiquement « étanche » qui constituera la caractéristique de contrôle la plus importante, grâce à l'utilisation de vannes, conduites et raccords de conduites de haute qualité.

3. Utiliser des lits d'adsorption à l'uranium pour stocker le tritium gazeux.

4. Utiliser des lits d'adsorption au titane pour le stockage à long terme du tritium gazeux.

5. Avoir recours à l'adsorption directe sur des lits d'adsorption, ou à la purge et au piégeage de gaz inertes durant les opérations de traitement. Les rejets intentionnels de tritium gazeux par les canalisations et dans des récipients ne constituent pas une bonne pratique.

6. Utiliser des pompes à spirales sans huile dans la mesure du possible.

7. Éliminer le tritium gazeux et le HTO à l'orifice d'évacuation des pompes à vide, en autant qu'il y ait un traitement ou une voie d'évacuation pour ce tritium.

8. Réduire les rejets chroniques en ajoutant un confinement secondaire aux lits d'adsorption, particulièrement dans le cas des lits qui sont utilisés à des températures élevées et sur de longues périodes.

9. Se concentrer sur la technologie de réduction des émissions au point de rejet.

10. Utiliser des points de rejets (cheminées) de conception appropriée pour les systèmes de ventilation, afin d'assurer une bonne dispersion du tritium gazeux et de la vapeur d'eau tritiée.

1. INTRODUCTION

1.1 Projet d'études sur le tritium

Le présent rapport est l'un des documents produits dans le cadre du Projet d'études sur le tritium de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), qui est décrit dans la charte du projet Études sur le tritium de la CCSN de juin 2007. Le présent rapport, intitulé Évaluation des installations de manipulation du tritium, documente les travaux réalisés à l'appui de la section 5.4 de la charte. Voici le texte de la section 5.4 :

> « Le personnel de la CCSN compilera et évaluera des conceptions d'installations et des technologies d'évitement de la pollution pour des titulaires de permis qui rejettent du tritium dans l'environnement au Canada, et les comparera aux meilleures pratiques qui existent pour des installations semblables à l'extérieur du Canada. Cette évaluation visera les titulaires de permis qui produisent ou traitent du tritium, ou qui gèrent des déchets de tritium. »

Cette activité portera essentiellement sur :

- l'examen de l'information sur les meilleures pratiques relatives au traitement et à la gestion du tritium;
- les principaux producteurs canadiens, notamment Ontario Power Generation (OPG) et Énergie atomique du Canada limitée (EACL);
- les principaux titulaires de permis d'installations de catégorie 1B qui utilisent le tritium dans un procédé de fabrication, notamment SRB Technology (SRBT) et Shield Source Inc.;
- les plus importants titulaires de permis de possession de substances nucléaires;
- les sociétés canadiennes qui possèdent de l'expertise dans les technologies associées au tritium;
- deux fabricants de sources lumineuses au tritium établis en Suisse et en Afrique du Sud.

Le produit livrable est un rapport portant sur :

- les meilleures pratiques de manipulation et de contrôle du tritium au Canada;
- le rendement en matière d'exploitation des producteurs, transformateurs et principaux utilisateurs canadiens de tritium;
- une comparaison entre les pratiques d'exploitation des titulaires de permis canadiens d'installation de traitement du tritium et les meilleures pratiques de l'industrie.

1.2 Meilleures pratiques concernant la manipulation du tritium gazeux

Dans le présent rapport, l'expression « meilleures pratiques » sera utilisée en référence à la technologie qui est disponible pour réduire les rejets de tritium dans l'environnement. Lorsqu'il est question des « meilleures pratiques », on réfère à des procédés ou à des technologies qui permettent de réduire les rejets de tritium, et pas nécessairement au rapport coût-efficacité d'un procédé de production.

Le Règlement sur la radioprotection de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* établit la limite de dose de rayonnement pour les travailleurs et le public et exige que celle-ci soit maintenue au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre. C'est le principe ALARA. Au Canada, ce principe est une exigence prévue par la loi, tel que décrit à l'alinéa 4a) du *Règlement sur la radioprotection*. C'est ce principe qui orientera l'examen de la question en ce qui a trait aux « meilleures pratiques ».

1.3 Objectifs et portée

L'objectif du présent document consiste à :

- Identifier les bonnes pratiques de contrôle du tritium gazeux, en ce qui a trait au maintien du tritium dans l'environnement au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre.
- Examiner le rendement en matière d'exploitation des utilisateurs canadiens de tritium, en ce qui a trait aux rejets dans l'environnement.
- Établir des comparaisons entre les utilisateurs canadiens de tritium et les utilisateurs de tritium ailleurs dans le monde, en ce qui a trait au contrôle des rejets.
- Identifier les changements et les améliorations qui pourraient être apportés à la réglementation du tritium au Canada.

Le rapport porte essentiellement sur le contrôle du tritium dans le but de réduire tous les rejets dans l'environnement émis par les sociétés qui utilisent du tritium dans le cadre d'un procédé de fabrication. Il ne s'agit pas d'un examen exhaustif des pratiques d'ingénierie liées au tritium, ni d'un examen des nouvelles technologies de traitement du tritium. Le personnel de la CCSN fait remarquer que des travaux de recherche importants sont réalisés en Europe, au Japon et aux États-Unis en ce qui a trait à la technologie de fusion. Ces travaux permettent déjà l'acquisition de connaissances techniques et d'expertise qui sont utilisées actuellement, et celles-ci pourraient mener vers de nouvelles technologies qui seront utilisées par l'industrie canadienne du tritium dans le futur.

1.4 Méthodes d'examen des meilleures pratiques

De l'information sur la manipulation du tritium peut être obtenue auprès de différentes sources. Celles-ci comprennent le US Department of Energy; les textes publiés sur la manipulation du tritium; les documents de la CCSN publiés antérieurement sur la manipulation et l'utilisation du tritium; les comptes rendus de conférences et l'information divulguée dans le cadre de la conférence internationale sur les sciences et la technologie du tritium tenue récemment aux États-Unis.

Les principaux utilisateurs canadiens de tritium ont été identifiés en consultant les listes des titulaires de permis d'installations nucléaires et d'équipement réglementé de catégorie 1, selon le *Règlement sur les installations nucléaires et l'équipement réglementé de catégorie 1* pris en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (LSRN). Les sociétés canadiennes qui possèdent de l'expertise dans la manipulation du tritium ont également été identifiées grâce aux revues spécialisées en génie nucléaire. On a contacté toutes les sociétés identifiées afin de leur demander de collaborer au projet. Le personnel de la CCSN a effectué des visites dans les installations des sociétés ayant accepté de collaborer au projet, a passé en entrevue des employés et, bien souvent, des documents ont été fournis à la CCSN.

Une enquête semblable a été réalisée pour les sociétés qui fabriquent des sources lumineuses au tritium gazeux à l'étranger, ainsi que pour les sociétés qui manipulent des quantités importantes de tritium. Trois sociétés étrangères ont accepté de participer au projet de la CCSN. Encore une fois, le personnel de la CCSN a effectué des visites sur place, a passé en entrevue des employés et a obtenu des documents.

Toutes les sociétés qui ont participé au projet font l'objet de remerciements à la fin du présent rapport.

2 RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES SUR LE TRITIUM

2.1 Le tritium

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène, dont la période radioactive est de 12,3 ans. Il émet un rayonnement bêta de faible énergie, qui est entièrement absorbé par des matériaux ordinaires, comme des feuilles de plastique, du papier, du verre ou du métal. Au Canada, le contrôle des rejets de tritium dans l'environnement est particulièrement important, puisque les réacteurs CANDU génèrent beaucoup plus de tritium que la plupart des autres types de réacteurs – à cause de l'utilisation d'eau lourde (deutérium) dans le circuit du modérateur et le circuit caloporteur. Le tritium est retiré de l'eau lourde à l'installation de détritiation de Darlington, où il est stocké. Il est ensuite vendu à des fabricants de sources lumineuses au tritium gazeux, au Canada ou à l'étranger.

2.2 Propriétés du tritium gazeux

Le tritium gazeux (T_2) est une forme radioactive de l'hydrogène gazeux (H_2). Il est chimiquement et physiquement presque identique à l'hydrogène gazeux et aux fins du présent rapport, on peut les considérer comme identiques. Il convient de noter que, contrairement à l'hydrogène, la quantité de masse utilisée dans la plupart des installations de manipulation du tritium est très petite. Un gramme de tritium gazeux pur à 0 °C à la pression atmosphérique au niveau de la mer aura un volume de 3,7 litres. Cela correspond à $3{,}56 \times 10^{14}$ becquerels, ou 356 térabecquerels.

2.3 Composés chimiques contenant du tritium

On ne trouve le tritium gazeux pur (T_2) qu'à l'intérieur de l'équipement de traitement. Dès qu'il entre en contact avec l'air extérieur, il se combine rapidement avec de petites quantités d'hydrogène libre de l'air et forme du tritium gazeux (HT) plus stable. C'est le tritium gazeux rejeté dans l'air par les installations où l'on manipule du tritium.

De plus, le tritium gazeux s'oxydera au contact de l'air – sur une période de quelques heures ou de quelques jours – pour former de l'eau tritiée (HTO). Du HTO peut également se former rapidement lorsque le tritium gazeux entre en contact avec des surfaces métalliques dans l'air. La surface métallique agit comme catalyseur en présence d'air (oxygène) et forme du HTO. L'eau tritiée est chimiquement et physiquement presque identique à l'eau ordinaire, et aux fins du présent rapport nous les considérerons identiques. Ces trois composés contenant du tritium sont les substances qui présentent le plus d'intérêt dans ce rapport. Les procédés utilisés pour limiter les rejets de tritium dans l'environnement sont principalement axés sur la captation et l'extraction du T_2, du HT et du HTO.

3 LA TECHNOLOGIE ET L'EXPÉRIENCE CANADIENNE

3.1 Hydrogène et technologie du vide

L'hydrogène gazeux est l'un des gaz les plus difficiles à confiner dans un récipient, car ses molécules sont très légères et énergétiques. Elles sont suffisamment petites pour diffuser à travers les métaux à des taux faibles mais mesurables, dans des conditions de température et de pression élevées.

Cependant, il s'agit d'un gaz industriel utile et largement utilisé. Par conséquent, les exigences relatives à la manipulation de l'hydrogène gazeux sont bien connues et, une fois que les contrôles techniques appropriés sont appliqués, on peut l'utiliser couramment et de manière sûre partout dans le monde. Les technologies qui ont été mises au point pour le traitement de l'hydrogène peuvent être utilisées pour la manipulation et le traitement du tritium.

La technologie du vide est largement utilisée en recherche et l'équipement à vide de très haute qualité est rapidement et facilement utilisable. Dans l'industrie de la fabrication, qui utilise environ un gramme de tritium par jour, l'équipement à vide poussé à petite échelle demeure le premier choix pour transférer le tritium gazeux des récipients de stockage vers le point d'utilisation.

3.2 Installation de détritiation de Darlington

Ontario Power Generation (OPG) exploite la plus grande installation de manipulation du tritium au Canada, et peut-être au monde, sur le site du réacteur de puissance de Darlington. L'installation de détritiation de Darlington réduit la teneur en tritium du modérateur des réacteurs CANDU et entrepose du tritium gazeux pur (T_2) sur un film de titane. Il s'agit d'un procédé important et complexe, permettant de produire entre un et deux kilogrammes de tritium gazeux par année (356-712 x 10^3 térabecquerels par année). Ce tritium est stocké sur du titane métal à l'intérieur de contenants en acier inoxydable. Le procédé au cours duquel du tritium pur est produit puis transféré vers des lits d'adsorption au titane est très pertinent dans le cadre de la présente étude.

Un examen des données historiques sur la quantité de tritium traité et sur les rejets de tritium dans l'atmosphère et les rejets liquides par les installations indique que les pertes sont de l'ordre de 0,03 %. Dans le cas d'un procédé complexe, où la manipulation dépasse 1 000 tonnes de modérateur par année, cela est considéré acceptable.

L'installation a rejeté 95 TBq de HT gazeux dans l'atmosphère en 2006. La concentration de HTO dans l'air aux limites de l'installation se situait alors entre 0,3 et 3,3 Bq/m^3. La concentration la plus élevée mesurée à proximité dans les eaux de surface du lac Ontario, dans la baie McLaughlin, était de 24,2 Bq/l.

Dans les discussions avec le personnel d'OPG, un certain nombre de questions pertinentes et concernant les bonnes pratiques ont été proposées. Elles sont détaillées ci-après.

3.2.1 Conception

Le procédé comprend un certain nombre d'opérations unitaires distinctes, qui peuvent être isolées ou arrêtées individuellement en cas de fuite ou de défaillance. Cela permet de diminuer les conséquences de toute défaillance entraînant des rejets dans l'environnement.

3.2.2 Confinement primaire

Le confinement primaire est la partie la plus importante du contrôle du tritium gazeux. Maintenir l'étanchéité de l'installation est le principal défi, car la récupération du gaz libéré ne sera jamais efficace à cent pour cent. Cela signifie qu'il faut utiliser des vannes de haute qualité, et des conduites et des raccords de conduite étanches. Par exemple, les vannes à soufflets à vide poussé en inconel (alliage de nickel et de chrome très résistant à l'oxydation et à la corrosion et, par conséquent, qui convient bien à une utilisation dans des conditions extrêmes) sont couramment utilisées dans la partie du procédé où le tritium gazeux est manipulé. La fiabilité des composants est importante, car les fuites causées par des composants défaillants peuvent avoir une incidence sur la qualité du produit et accroîtront les rejets.

3.2.3 Contrôle de la contamination

Le contrôle de la contamination est une pratique opérationnelle importante pour réduire les dangers liés au tritium et les pertes potentielles. Il peut être effectué de manière courante, afin d'accéder facilement aux composants ou de contrôler les rejets durant les activités d'entretien ou de réparation. Le personnel de l'installation de récupération du tritium donne deux exemples où le contrôle de la contamination est prévu dans les activités d'entretien ou de réparation. Le premier est la purge des canalisations et des vannes avec des gaz inertes, afin d'éliminer le tritium gazeux. Le deuxième est le chauffage à vide des canalisations et des récipients, à des fins de dégazage de la surface interne des canalisations avant le remplacement de l'équipement.

3.2.4 Confinement secondaire

Chaque semaine, l'installation de récupération du tritium produit quelques millilitres de tritium gazeux liquéfié. Le tritium gazeux liquéfié est transféré dans un contenant de stockage permanent, dans ce qui est appelé « système d'immobilisation du tritium », à l'intérieur d'une « boîte à gants » distincte, remplie d'argon. Cette boîte est dotée d'un circuit interne de recirculation du gaz (argon), qui fonctionne de manière continue. Ce dernier sert de confinement secondaire en cas de fuite importante. En ayant recours à une atmosphère inerte, il est possible de récupérer la majeure partie du tritium rejeté dans la « boîte à gants », une boîte scellée utilisée pour contrôler les matières dangereuses. Le tritium est adsorbé sur de l'uranium métal dans ce système, ce qui permet de le récupérer ultérieurement sans difficulté.

3.2.5 Contrôle de la ventilation et des rejets

L'installation de récupération du tritium possède son propre système de ventilation et son propre point de rejet. On trouve une cheminée de dix (10) mètres de hauteur et de deux (2) mètres de diamètre sur le toit du bâtiment. Le bâtiment est d'une hauteur de 143 mètres, alors le point de rejet réel se situe à une hauteur de 153 mètres. L'air rejeté est constitué d'une combinaison d'air de procédé et d'air de ventilation du bâtiment. La vitesse d'écoulement et le débit d'écoulement volumétrique sont de 13 m/s et de 60 m^3/s, respectivement.

3.2.6 Stockage du tritium

Cette installation stocke du tritium sur du titane métal depuis plus de vingt (20) ans. La méthode de stockage actuelle est considérée appropriée par OPG et l'on préfère le titane métal pour le stockage à long terme du tritium. Lorsque le tritium entre en contact avec le titane, il est adsorbé sur le métal et réagit pour former un composé solide, appelé tritiure de titane. Sous cette forme, le tritium n'est plus un gaz volatil, mais plutôt une matière solide stable. Lorsqu'on a besoin du tritium sous forme gazeuse, on peut le libérer en chauffant le lit d'adsorption au titane entre 550 °C et 700 °C. Une fois que cela est fait, le métal se détériore et sa capacité à emmagasiner du tritium est considérablement réduite. Le lit d'adsorption au titane sera considéré comme un déchet et ne pourra plus être utilisé.

L'uranium métal est également utilisé dans l'installation pour le stockage temporaire du tritium, tel qu'indiqué à la section 3.2.4. L'uranium donne lieu à un tritiure moins stable, qui peut être rejeté de manière contrôlée en le chauffant à des températures avoisinant 400 °C. Cette procédure présente l'avantage suivant : le lit d'adsorption à l'uranium métal peut être réutilisé plusieurs fois.

3.3 Laboratoire de tritium de Chalk River (EACL)

Énergie atomique du Canada limitée (EACL) exploite une installation de tritium sur le site des Laboratoires de Chalk River. Cette installation porte le nom de « Laboratoire de tritium » et sa fonction primaire est de fournir du tritium aux utilisateurs de tritium d'OPG. On y manipule environ $3{,}7 \times 10^{+16}$ Bq par année (104 grammes).

3.3.1 Description de la boîte à gants employée dans le traitement du tritium

L'installation comprend une grande boîte à gants, divisée en deux parties. La section supérieure est remplie d'argon et est assujettie à une pression légèrement positive. La section inférieure est constituée d'une boîte à gants classique remplie d'air, sous une pression d'air légèrement négative. La boîte supérieure contient l'appareil de manipulation du tritium, alors que la boîte inférieure contient le système de nettoyage du tritium et des pompes à vide additionnelles. Les boîtes à gants sont aérées et reliées au système de ventilation de l'immeuble, qui évacue l'air vicié par une cheminée d'une hauteur de 25 mètres.

3.3.2 Confinement primaire

L'équipement de manipulation du tritium a été conçu pour servir d'installation de distribution de tritium multifonctions et à vide poussé. Il comprend des canalisations et des vannes à vide poussé, dotées de raccords à compression à assemblage métal-métal. L'utilisation de raccords à compression permet d'apporter des modifications assez facilement, suivant les besoins. Les vannes sont principalement des vannes à soufflets à vide poussé. L'installation contient de grandes quantités de tritium gazeux pendant de longues périodes. Même les petites fuites de gaz peuvent donner lieu à une radioactivité de plusieurs becquerels, alors on utilise également un système de confinement secondaire pour protéger les travailleurs.

3.3.3 Confinement secondaire

Le confinement secondaire comprend des boîtes à gants. La boîte supérieure contient une atmosphère d'argon et un système de nettoyage de gaz permettant de réduire les concentrations de tritium à moins de $1{,}3 \times 10^{-10}$ Bq/m^3. L'équipement de nettoyage de gaz se trouve à l'intérieur de la boîte à gants inférieure. La boîte à gants inférieure est une boîte à gants classique, reliée au système de ventilation du laboratoire.

3.3.4 Nettoyage de la boîte à gants

L'argon gazeux dans la boîte à gants est continuellement recyclé dans un lit d'adsorption au titane, qui élimine l'oxygène, l'azote, la vapeur d'eau, l'hydrogène et le tritium. Ce lit d'adsorption doit être remplacé tous les deux ou trois ans. Il y a également un lit d'adsorption au zirconium et à alliage de fer dans la boîte à gants inférieure, qui agit comme système auxiliaire pour le lit d'adsorption au titane en cas de rejet soudain de tritium dans la boîte à gants supérieure.

3.3.5 Pompes à vide

Cette installation comporte un certain nombre de pompes à vide, dont quelques-unes sont à l'huile et d'autres sont des pompes sèches. La pompe à spirales sans huile qui se trouve dans la boîte à gants supérieure n'a jamais eu à être remplacée et fonctionne toujours de manière satisfaisante.

Il y a une pompe à vide remplie d'huile dans la boîte à gants inférieure. L'huile à l'intérieur de la pompe est remplacée chaque année et transférée, à titre de déchet de faible activité, vers l'installation de gestion des déchets sur le site. La concentration de tritium dans l'huile est d'environ 3,0 x 10^{+10} Bq/l.

3.3.6 Stockage du tritium

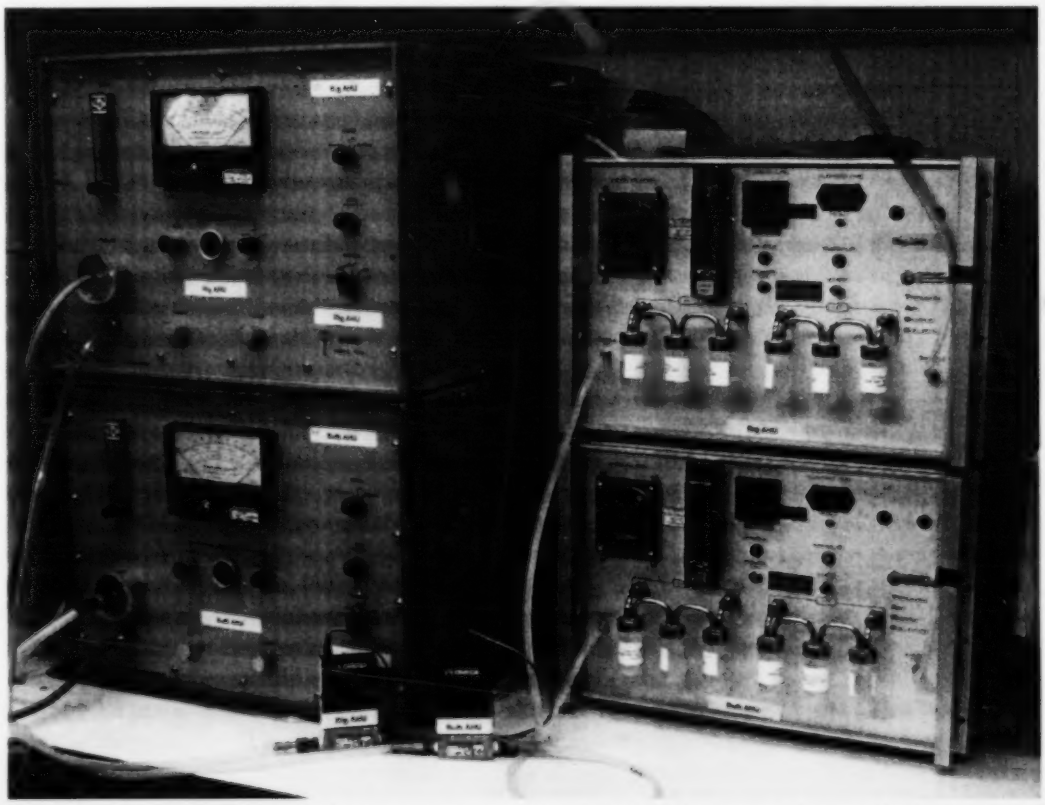
Une fois que le tritium a été retiré du lit d'adsorption au titane, il est conservé sur un autre lit jusqu'à ce qu'il y ait des besoins formulés par un client.

On a laissé entendre que ces deux lits sont probablement à l'origine de la majorité des rejets de tritium continus dans la boîte à gants. Cela s'explique par le fait qu'ils ne comportent qu'une seule paroi, et qu'ils ont tous deux été soumis à de nombreux cycles de chauffage.

3.3.7 Rejets dans l'environnement

Les rejets de tritium par la cheminée sont mesurés en continu à l'aide de barboteurs et d'un catalyseur au platine à activité oxydante. Le système d'échantillonnage permet de mesurer les rejets de HTO et de HT. Les résultats de la surveillance indiquent des proportions d'environ 20 à 40 % de HTO, et d'environ 60 à 80 % de HT dans les rejets atmosphériques.

L'activité annuelle totale du tritium rejeté par l'installation est d'environ $3,7 \times 10^{-12}$ Bq. Cela représente environ 0,01 % des matières manipulées. La concentration de tritium dans la cheminée varie entre 0 et $1,8 \times 10^{+5}$ Bq/m^3 lorsque le laboratoire ne traite pas de tritium, et $1,8 \times 10^{+6}$ Bq/m^3 lorsqu'on y prépare du tritium pour la distribution.

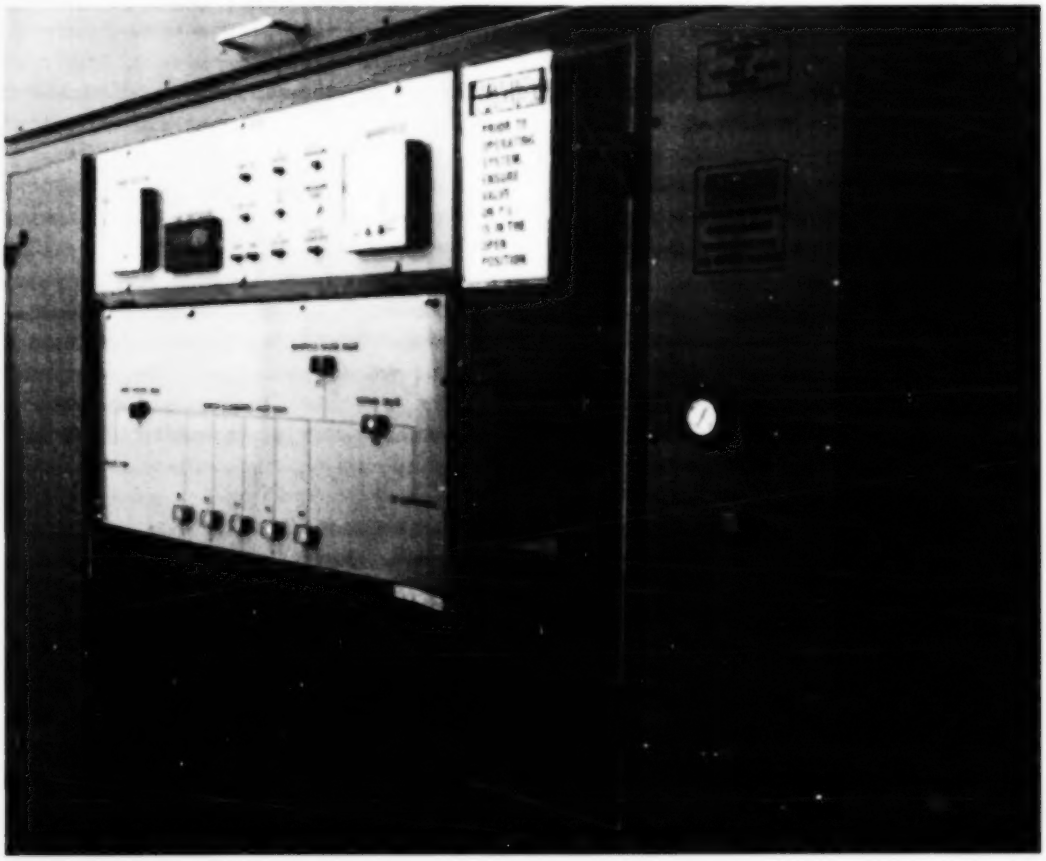


Les rejets de tritium par la cheminée sont mesurés en continu à l'aide de barboteurs. Lorsque de l'air contenant de la vapeur d'eau tritiée est purifié par barbotage dans de l'eau ordinaire, l'eau tritiée est recueillie par le barboteur. Il arrive souvent que deux ou trois barboteurs sont branchés en série, afin d'assurer une bonne collecte.

3.4 SRB Technology

SRB Technology (SRBT) exploite une installation de fabrication de sources lumineuses au tritium gazeux à Pembroke, en Ontario, depuis 1991. Elle y fabrique des panneaux, des cadrans et des instruments autolumineux. La partie de l'installation où l'on manipule du tritium comprend un système de réception et de distribution, plusieurs appareils de remplissage des tubes et un appareil de récupération du tritium.

L'installation a évolué au fil du temps et, au cours des dernières années, elle a été l'objet d'un examen réglementaire minutieux, parce que ses rejets ont été considérés par la CCSN comme ayant une incidence sur l'environnement. Tel qu'illustré par cette installation, nous verrons plus loin comment des améliorations techniques de base et des changements aux procédés d'exploitation peuvent permettre de réduire les rejets dans l'environnement.



Un appareil de remplissage typique est utilisé pour remplir les tubes de verre avec du tritium gazeux dans une installation de sources lumineuses au tritium gazeux.

3.4.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium

Le tritium est livré dans un contenant de transport d'uranium homologué, connu sous le nom « Amersham AY 0666 ». Il est retiré du contenant et divisé (ou distribué) dans différents lits d'adsorption à l'uranium plus petits. Cette opération est réalisée dans un appareil à vide, aménagé à l'intérieur d'une hotte.

On dénombre plusieurs appareils de remplissage pour différents types de tubes, chacun étant bien distinct. Ils sont soit installés sous une hotte ou reliés au système de ventilation à hotte.

Un appareil de recyclage du tritium était utilisé pour écraser les anciens tubes de sources lumineuses au tritium et pour en extraire le tritium en vue de le réutiliser. Il comportait un système à vide renfermant un broyeur mécanique installé sous une hotte. Cet équipement n'était pas très efficace et est à l'origine de rejets de tritium importants dans le passé; il n'est donc plus utilisé.

3.4.2 Conception et évolution

L'équipement de manipulation du tritium a évolué pour répondre aux besoins des clients. Il comporte des technologies et de l'équipement à vide poussé. L'installation est bien ventilée et comprend un système de ventilation en cascade conçu pour capter rapidement tout rejet de tritium durant les opérations de procédé. Les différents appareils offrent une certaine souplesse et sont relativement faciles à modifier, principalement en raison du fait qu'ils sont construits en utilisant la technologie du vide et qu'ils comportent des raccords à compression.

Les pompes à vide étaient à l'origine des pompes à huile, mais elles ont été remplacées au fil du temps par des pompes à vide sèches ou des pompes à vide à spirales sans huile. L'orifice d'évacuation des pompes à vide est relié au système de ventilation du bâtiment.

Au cours des dernières années, de nombreux appareils ont été reconfigurés afin de réduire le diamètre des canalisations et leur longueur, dans le but de réduire au minimum le volume inutilisable et les pertes de tritium. Le rinçage des canalisations à l'aide de gaz inertes est également devenu une nouvelle pratique, adoptée dans le but de réduire la quantité de HTO rejetée dans l'atmosphère.

3.4.3 Confinement

Dans l'équipement de manipulation du tritium, on se fie essentiellement au confinement primaire pour contrôler les rejets de tritium. Des pompes à vide, des vannes et des raccords de conduites disponibles sur le marché sont utilisés dans l'ensemble de l'installation comme confinement primaire. Les appareils ayant fait récemment l'objet d'une réingénierie ont été reconstruits afin de réduire les espaces inutilisables, grâce à des pompes à vide, des vannes et des raccords de conduites de haute qualité disponibles sur le marché.

Il n'y a pas de confinement secondaire dans cette installation. Cependant, on utilise abondamment les hottes et on se fie à celles ci-pour protéger la main-d'œuvre contre l'exposition chronique au tritium gazeux et à la vapeur de HTO.

3.4.4 Ventilation et rejets dans l'environnement

L'installation de SRBT est dotée d'un important système de ventilation industriel, constitué de deux ventilateurs distincts, de moteurs et de cheminées, muni de contrôles intégrés. Ce système admet l'air entrant et dirige l'air contaminé vers les orifices de sortie des cheminées. Chaque cheminée est d'une hauteur d'environ 11 mètres et la vitesse terminale de l'écoulement d'air est supérieure à 12 mètres par seconde.

Les rejets aux deux cheminées ont toujours été élevés; comme nous l'avons mentionné précédemment, suite à l'application de mesures réglementaires, les rejets de l'installation ont été réduits. La meilleure information disponible pour les dernières années indique que le pourcentage des rejets de tritium, comparé à la quantité de tritium utilisée dans le procédé de production s'élevait à 3,9 % en 2005, à 1,3 % en 2006 et à 0,04 % sur huit (8) semaines en 2007, et enfin à 0,14 % pendant la seconde moitié de 2008 lorsque le traitement du tritium a repris.

Les données récentes de 2008 se situaient entre 0,03 et 0,08 % sur cinq mois, et à 0,86 % pour un mois. Cette valeur élevée était due à un unique problème de procédé qui a depuis été réglé par l'ajout d'un confinement secondaire. SRBT est autorisée à posséder en tout temps jusqu'à 6 000 TBq de tritium sous une forme ou une autre (169 grammes), mais ne détient généralement qu'environ la moitié de cette quantité sur les lieux.

Le personnel de SRBT estime que la concentration de HTO à la sortie des cheminées a été réduite lorsqu'on a remplacé les pompes à palettes à huile par des pompes à spirales sans huile, comme le montre la baisse marquée des pourcentages de rejet à la fin de 2007. Cependant, ce changement est survenu au même moment que d'autres changements de procédé et ce, peu après un arrêt prolongé. Il est donc difficile de déterminer quelle est la contribution de ce changement sur la réduction globale des rejets de tritium dans l'environnement.

Le système d'échantillonnage de SRBT mesure les rejets de HTO et de HT. Les rejets de HTO en 2006 ont été de 72 TBq dans l'atmosphère et environ 0,04 TBq à l'égout. Le rejet atmosphérique de HT a été de 210 TBq. Les concentrations de tritium dans l'air, l'eau de surface et autres milieux tels que les produits maraîchers ont aussi fait l'objet d'une surveillance régulière. La concentration de HTO dans l'air à une distance de 220 mètres du bâtiment se situait alors entre 3,9 et 56 Bq/m^3, et celle dans l'eau de surface d'un cours d'eau proche de SRBT était d'environ 5 Bq/l.

3.5 Shield Source Incorporated

Shield Source Incorporated est un fabricant de sources lumineuses au tritium gazeux de Peterborough, en Ontario, qui exploite une installation relativement petite depuis 18 ans. Shield Source Incorporated produit principalement des panneaux de sortie qui contiennent des tubes de verre, et possède deux appareils de manipulation du tritium qui permettent de recevoir le tritium et de procéder au remplissage des tubes. Il n'y a pas d'appareil de recyclage pour extraire le tritium gazeux des sources lumineuses désuètes ou redondantes dans cette installation.

3.5.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium

Dans une salle ventilée se trouvent deux appareils identiques de réception du tritium et de remplissage des tubes. Ces appareils reçoivent le tritium dans des contenants de transport Amersham et transfèrent le tritium sur des lits d'adsorption à l'uranium dans l'appareil de remplissage. Les tubes sont remplis de tritium, puis scellés. Chaque appareil permet de remplir environ 1 500 tubes par jour.

3.5.2 Conception

Les deux appareils ont été conçus pour remplir des tubes de verre, utilisés dans la fabrication des panneaux de sortie. Les appareils sont compacts et indépendants, et sont utilisés séparément. Les canalisations sont constituées principalement d'acier inoxydable soudé, à l'exception de quelques raccords à compression métalliques. C'est la principale raison pour laquelle il est difficile de remplir des tubes de forme complexe ou d'apporter rapidement des modifications à l'équipement de procédé.

Jusqu'en 2008, le vide était assuré par des pompes à palettes à huile classiques, reliées directement au système de ventilation. Depuis, ces pompes ont été remplacées par des pompes à spirales sans huile.

Un système de récupération du tritium est intégré à la tête de remplissage qui se fixe à l'embout d'extrémité du tube de remplissage et aspire le tritium gazeux en le ramenant à un lit d'adsorption à l'uranium. Le tritium est récupéré périodiquement et réutilisé.

Les appareils se trouvent dans une enceinte munie d'une hotte et sont reliés au ventilateur et à la cheminée de l'installation.

3.5.3 Confinement

Dans l'équipement de manipulation du tritium, on a recours essentiellement au confinement primaire pour contrôler les rejets de tritium. Des pompes à vide, des vannes et des raccords de conduites disponibles sur le marché sont utilisés dans l'ensemble de l'installation à titre de confinement primaire. Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'installation de Shield Source Incorporated comporte essentiellement des canalisations soudées et bien souvent le corps de la vanne est soudé directement aux canalisations. Il n'y a pas de confinement secondaire dans cette installation. Les appareils sont aménagés dans des enceintes munies de hottes, afin de protéger la main-d'œuvre en cas de rejet de tritium.

3.5.4 Ventilation

L'installation est munie d'un système de ventilation industriel classique, qui comporte un seul ventilateur relié à une cheminée d'une hauteur de neuf (9) mètres. D'après l'analyse des données sur les rejets, les pertes de tritium dans le système de ventilation correspondent presque toujours à environ 0,4 % de la production. Le personnel de l'installation précise que l'introduction de pompes à spirales sans huile semble réduire la concentration de HTO dans les rejets.

Le système d'échantillonnage de Shield Source Incorporated mesure les rejets de HTO et de HT. Les rejets de HTO en 2006 ont été de 13 TBq dans l'atmosphère et environ 0,02 TBq à l'égout. Les rejets atmosphériques de HT ont été de 98 TBq. Les concentrations de tritium dans l'air, l'eau de surface et autres milieux tels que les produits maraîchers ont aussi fait l'objet d'une surveillance régulière. La concentration de HTO dans l'air à une distance de 210 mètres du bâtiment se situait alors entre 0,3 et 3,8 Bq/m^3. La concentration dans l'eau de surface la plus élevée a été mesurée dans un étang à 220 mètres du site de Shield Source Incorporated, avec une valeur de 1 490 Bq/l.

3.6 Kinectrics Incorporated

Kinectrics est une société de conception technique basée à Toronto, en Ontario. Elle possède également un laboratoire de tritium dont l'exploitation est autorisée par un permis de la CCSN en vue d'y effectuer des travaux de développement sur le tritium. Le personnel de Kinectrics a participé à la conception et à la modification de l'installation de détritiation de Darlington, et ils ont également été consultants pour de nombreux projets relatifs au tritium partout dans le monde. Cette société ne fabrique aucun produit contenant du tritium.

En 2006, Kinectrics a rejeté 0,76 TBq de HTO et 0,17 TBq de HT dans l'atmosphère, et 0,066 TBq à l'égout. Les mesures limitées dans des milieux environnementaux effectuées à proximité de l'installation ont donné des résultats généralement inférieurs aux limites de détection.

3.6.1 Expérience de la manipulation du tritium

Lors de discussions avec le personnel technique de Kinectrics, les commentaires suivants sur la conception et la fabrication des installations de manipulation du tritium ont été faits :

- Il est préférable d'utiliser des raccords soudés sur toutes les canalisations de l'équipement de traitement du tritium et, si possible, d'utiliser des systèmes de soudage automatique à des fins d'uniformité.

- Les joints à compression métalliques conviennent bien aux vannes et à d'autres pièces des installations expérimentales, auxquelles on pourrait avoir à apporter des modifications. Cependant, il faut les utiliser avec soin, afin d'éviter l'accumulation de contraintes dans les canalisations. Les contraintes exercées au moment de la construction peuvent causer des fuites au fil du temps, particulièrement dans les systèmes non soudés.

- Il est recommandé d'utiliser des vannes à soufflets pour les systèmes de tritium, car les soufflets agissent comme confinement secondaire.

- De façon générale, il n'y a pas d'avantage particulier à utiliser des pompes à vide à huile ou des pompes à vide sèches. Les pompes à vide à huile sont recommandées, en autant qu'il existe une voie d'évacuation pour l'huile usée. Les pompes sèches doivent souvent être accompagnées d'une pompe primaire et d'une pompe secondaire pour atteindre le même rendement. Les pompes sèches ne sont généralement pas aussi fiables que les pompes lubrifiées à l'huile, mais leur fiabilité s'améliore de plus en plus. Les exigences de l'utilisateur et les contraintes liées à la manipulation des déchets sont les facteurs clés qui demeurent déterminants.

- La collecte du HTO dans des appareils de séchage est une méthode facile et efficace. Toutefois, si la concentration de tritium est élevée, la manipulation de l'eau désorbée peut poser des risques pour la santé et la sûreté. L'eau doit être évacuée ou dirigée vers une installation de recyclage du tritium, comme l'installation de détritiation de Darlington. Aucune de ces deux options n'est réalisable au Canada à l'heure actuelle.

- Dans les boîtes à gants sous gaz inertes, les lits d'adsorption à alliage de fer-zirconium constituent un moyen efficace d'éliminer le tritium gazeux, en autant que le gaz soit exempt d'eau et d'oxygène.

- La mise en place de bonnes mesures de contrôle du procédé demeure la meilleure pratique pour réduire au minimum les pertes lors du traitement du tritium. Maintenir le tritium sous forme élémentaire a été le mécanisme de contrôle choisi par Kinectrics, puisque la substance est ensuite plus facile à confiner et à piéger. La technologie de récupération des pertes la plus efficace consiste à récupérer le tritium le plus près possible du point de perte. Pour ce faire, on peut utiliser des pièges/lits d'adsorption, ou oxyder le tritium en HTO et le piéger dans des pièges à eau classiques. Il est important de remarquer que l'eau possède une pression de vapeur élevée à l'équilibre, alors le contrôle de l'eau tritiée est important du point de vue de la santé et de la sûreté.

3.7 GE Hitachi Nuclear Energy Canada Inc.

GE Hitachi possède une installation d'extraction du tritium qui lui permet de récupérer le tritium contenu dans l'eau lourde (modérateur). GE Hitachi a accepté de parler du procédé de conception des usines où l'on manipule du tritium, à la lumière de son expérience au Royaume-Uni.

3.7.1 Principes de conception de l'usine de tritium

L'usine d'extraction du tritium de GE Hitachi est basée sur la technologie et le procédé de conception utilisé par GE Healthcare au Royaume-Uni. On a déterminé que les principes de conception suivants sont pertinents pour toute installation où l'on manipule du tritium au Canada :

- Le procédé de conception du produit final doit être bien documenté du début à la fin. Un schéma de procédé doit être produit, puis mis à l'essai durant la mise en service. Le schéma de procédé actuel indique un taux de rétention du tritium de 99,7 % au cours du procédé.

- La technologie de récupération du tritium gazeux et des pertes de vapeur de HTO existe. L'adsorption du tritium gazeux sur des lits d'adsorption au métal est bien connue, et différents matériaux sont disponibles pour des applications diverses. L'oxydation du tritium gazeux et l'adsorption de la vapeur d'eau résultante au moyen de tamis moléculaires sont également bien connus et peuvent être intégrés au procédé à l'étape de la conception. La condensation de la vapeur d'eau est une technique simple et utile pour éliminer les pertes de vapeur de HTO.

- Dans le cas des usines de traitement du tritium, la meilleure pratique consiste à concevoir et à construire selon des normes modernes appropriées. C'est ce qui permet, selon GE Hitachi, d'obtenir un confinement primaire de haut niveau. Le confinement secondaire ne s'applique qu'aux domaines où il y a un risque potentiel de rejets importants et on l'utilise principalement pour protéger la main-d'œuvre. Le confinement à gaz inerte ou le confinement rempli d'air peuvent tous deux convenir, selon le niveau de risque.

- Les fuites de tritium dans n'importe quelle partie du circuit doivent être éliminées le plus tôt possible et le plus près possible de la source de la fuite. Cela signifie que la technologie de réduction des émissions peut être optimisée afin de tenir compte des conditions spécifiques du rejet. On recommande d'avoir un système de ventilation en cascade intégré à la conception de procédé et n'importe quelle technologie de réduction des émissions.

- Enfin, il est important de maintenir l'inventaire de tritium au niveau le plus bas possible. Cela a un effet direct sur l'évaluation des accidents et l'analyse des risques.

4 EXPÉRIENCE DE LA MANIPULATION DU TRITIUM DANS D'AUTRES PAYS

4.1 GE Healthcare Ltd.

Des arrangements ont été pris avec le GE Healthcare Maynard Centre du Royaume-Uni, dans le but de visiter sa nouvelle installation de séparation du tritium. Le Maynard Centre utilise le tritium comme traceur pour des composés analytiques et des composés médicaux depuis plusieurs décennies. Il possède une expertise considérable dans le traitement et la manipulation du tritium. L'installation de séparation du tritium construite récemment et mise en service est possiblement l'installation de traitement du tritium la plus récente au monde. Lors de la visite, on nous a montré les installations actuelles de manipulation du tritium et on nous a parlé du fonctionnement de la nouvelle installation de séparation du tritium.

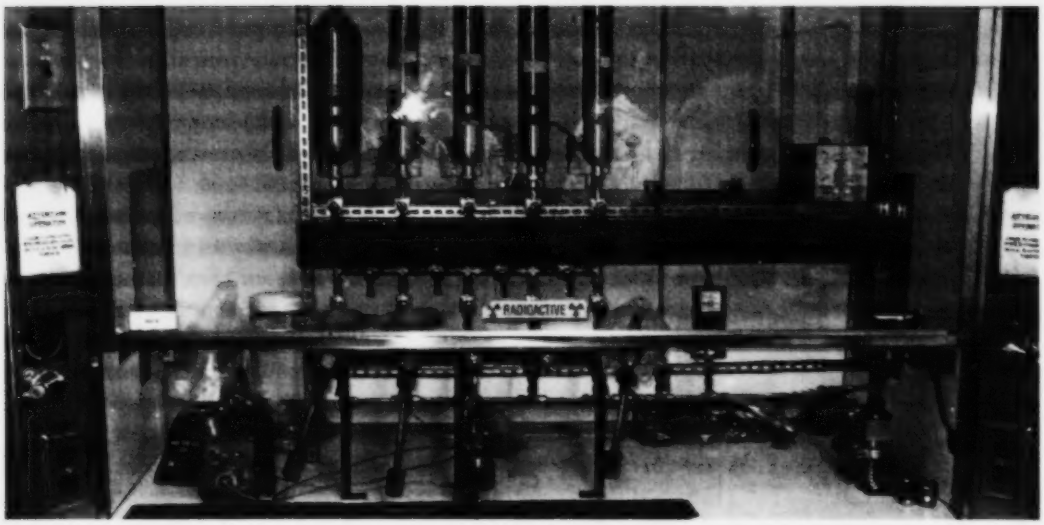
L'une des questions les plus intéressantes concernant le procédé, à laquelle cette installation doit faire face, est qu'environ 95 % de tout le tritium manipulé se retrouve sous forme de déchet. Il s'agit soit d'eau ou de solvants tritiés contenant différents produits chimiques complexes. Ces déchets sont entreposés sur le site de GE Healthcare et sont à l'origine de l'aménagement de l'installation de séparation du tritium. Voir la section 4.2.

4.1.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium

On reçoit le tritium dans des contenants Amersham de type courant, qui sont généralement fournis par EACL (Canada). Le tritium gazeux est transféré dans des lits d'adsorption à l'uranium de moindre taille en vue d'être utilisé dans l'installation. Le tritium peut ensuite être utilisé pour marquer des composés organiques, comme des gaz, ou il peut être adsorbé dans des solvants organiques et utilisé comme porteur. L'installation comprend une série de laboratoires distincts, chacun d'eux contenant un grand nombre de hottes. Il n'y a pas de boîtes à gants dans cette installation.

Les appareils utilisés pour séparer le tritium gazeux au moyen de lits d'adsorption à l'uranium plus petits sont installés à l'intérieur de hottes de laboratoire classiques. Ils utilisent des soupapes d'équipement à vide standard et des jauges reliées par des raccords à compression métalliques. Le vide est maintenu grâce à des pompes à palettes à huile et à des pompes turbomoléculaires.

L'équipement des composés de marquage est de construction semblable, mais contient davantage de raccords de conduites. Sur ces appareils de marquage, tout gaz résiduel laissé dans les cuves sera rejeté dans le système de ventilation. Il n'y a pas de récupération de tritium dans le système de ventilation.



Le tritium gazeux est transféré d'un contenant Amersham de type courant par séparation ou distribution dans des lits d'adsorption plus petits, en vue d'être utilisé dans l'installation.

4.1.2 Conception

Les appareils et l'équipement utilisés pour le tritium ont évolué au cours des vingt (20) années d'exploitation. La majeure partie de l'évolution porte essentiellement sur la réduction de la dose de tritium reçue par les travailleurs. Un projet interne de nouvelle conception et de reconstruction de ces appareils est mis en œuvre afin de réduire au minimum les déchets et les rejets dans l'environnement.

Il convient de noter que le laboratoire lui-même est un laboratoire de radiochimie à usages multiples, doté d'un système de ventilation en cascade.

4.1.3 Confinement

Le confinement primaire est assuré par de l'équipement à vide et son étanchéité est vérifiée en cours d'utilisation, grâce à la surveillance de la qualité du vide. Toute perte de vide est corrigée avant l'admission du tritium. Il n'y a pas de confinement secondaire sur ces appareils.

4.1.4 Ventilation

Tous les rejets de tritium par les instruments de laboratoire sont dirigés – sans récupération – vers le système de ventilation du laboratoire. Il s'agit d'un système de grande taille, relié à deux cheminées de 50 mètres de hauteur et de 1,7 mètres de diamètre.

4.1.5 Rejets dans l'environnement

En 2007, l'installation a rejeté environ 300 térabecquerels de tritium par la cheminée. Comme l'installation utilise environ 600 térabecquerels de tritium par année, cela représente environ la moitié du tritium total qu'elle a en sa possession. On estime qu'environ 5 % du tritium se retrouve dans le produit, alors une quantité semblable de tritium est éliminée sous forme de déchets liquides. Les déchets liquides qui contiennent le plus de tritium sont maintenant entreposés, en attendant la mise en service de la nouvelle installation de séparation du tritium. Ce tritium sera ensuite récupéré en vue d'être réutilisé.

Des échantillons environnementaux ont été mesurés sur le site et autour du site. La limite de détection de la méthode (LDM) employée au laboratoire des échantillons environnementaux est de 7 Bq/l. Les résultats de l'analyse signalés :

- Égout séparatif – habituellement 17 Bq/l
- Eau de mer – LDM de 7 Bq/l
- Eaux de surface – LDM de 10 Bq/l
- Eau de pluie – inférieure à la LDM
- L'activité des eaux souterraines sur le site a été mesurée; elle se situe entre 50 et 100 Bq/l

4.2 Installation de séparation du tritium de GE Healthcare Ltd

Au cours de la période écoulée entre la recherche effectuée et la publication de ce rapport, GE Healthcare a pris la décision de ne pas exploiter son installation de séparation du tritium au Royaume-Uni. Cependant, les renseignements de la présente section demeurent pertinents dans le cadre du rapport.

Cette installation a été construite dans le but d'extraire le tritium contenu dans les déchets liquides entreposés et de le récupérer en vue de le réutiliser. Elle est actuellement mise en service.

L'installation de séparation du tritium est une installation de traitement complète, qui utilise les déchets liquides tritiés (en les oxydant au besoin) pour produire de la vapeur de HTO. Celle-ci est ensuite traitée pour en retirer le tritium et pour produire du tritium gazeux pur à 99 % qui est stocké sur des lits d'adsorption à l'uranium en vue d'être réutilisé. Les déchets sont du dioxyde de carbone et de l'eau à faible teneur en tritium. Il existe un certain nombre de procédés de réduction des émissions qui produisent de l'eau tritiée, qui à son tour peut être retournée au début du procédé en vue du recyclage.

L'installation est conçue pour traiter 1 258 térabecquerels par année.

4.2.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium

Chaque appareil se trouve sous une hotte distincte ou dans une enceinte à boîte à gants. Cela permet de les fermer séparément au besoin. Chaque appareil possède également un système de récupération des rejets de tritium propre au procédé, accomplissant une ou plusieurs des fonctions suivantes : adsorption de gaz, oxydation et élimination de la vapeur d'eau, séchage ou rejets dans l'atmosphère. La partie de l'installation qui manipule du tritium gazeux comprend une hotte. Des volumes mesurés de tritium gazeux sont adsorbés sur des lits d'adsorption à l'uranium. Les canalisations sont toutes soudées et les vannes sont des vannes à soufflets. Toutes les pompes à vide utilisées dans l'installation sont des pompes sans huile. Les lits de stockage du tritium sont de petits lits qui peuvent être utilisés directement dans le laboratoire de traitement sans distribution additionnelle.

4.2.2 Conception

Le schéma de conception indique un intrant de 1 258 térabecquerels par année. Cet intrant permet de produire 1 252 térabecquerels de tritium gazeux recueilli sur des lits de stockage à l'uranium. Les pertes de procédé (tritium) s'élèvent à environ 0,4 %.

Le confinement primaire à haut rendement est utilisé partout dans l'installation. On trouve des systèmes de confinement secondaire à boîte scellée dans certaines opérations unitaires. La plupart des appareils sont logés dans une « enceinte à gants » *(slipbox)*. Une enceinte à gants est une enceinte qui ressemble à une hotte, mais dont l'accès est plus limité et qui est parfois munie de gants ambidextres.

Les lits de stockage du tritium sont de petite taille, alors ils peuvent être utilisés directement dans le laboratoire de procédé sans distribution additionnelle.

4.2.3 Ventilation

La ventilation pour chaque appareil est assurée par le système de ventilation du laboratoire. Cependant, la plupart des appareils possèdent leur propre système de réduction des émissions de tritium à la sortie d'air. Cela permet aux petits systèmes optimisés d'assainissement de l'air d'être utilisés en cas de fuite ou de rejet en provenance de n'importe quel appareil.

4.2.4 Rejets dans l'environnement

Le schéma de conception indique une perte de tritium dans l'air de 0,4 % de la production.

4.3 NTP Radioisotopes (Pty) Ltd.

NTP Radioisotopes (Pty) Ltd. est une filiale de Nuclear Energy Corporation of South Africa (NECSA). La société NTP occupe une partie du site NECSA à Pelindaba, près de Pretoria, en Afrique du Sud. Elle exploite une entreprise de sources lumineuses au tritium gazeux qui représente seulement une petite partie (environ 1 %) du commerce global de radio-isotopes de NTP. L'objectif principal de l'activité est de produire des radio-isotopes à des fins médicales et pour d'autres utilisateurs.

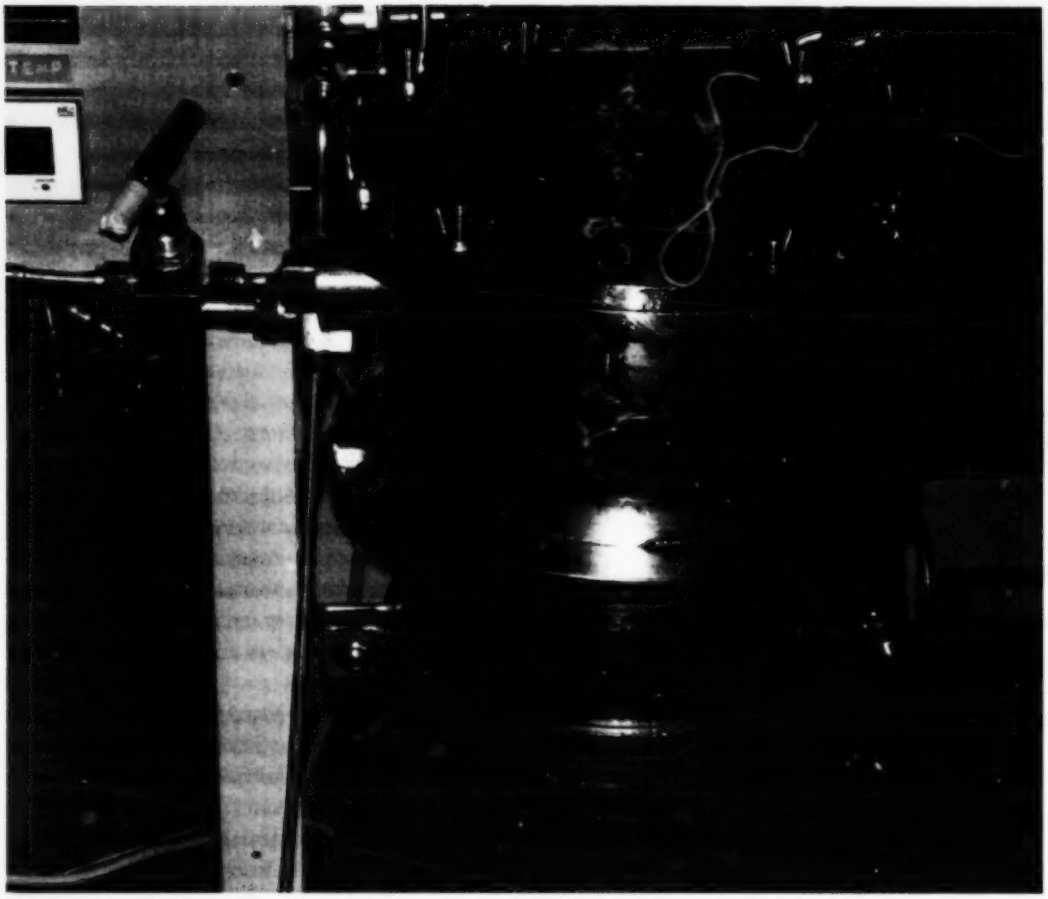
Dans le passé, NTP a acheté du tritium d'Amersham UK (et possiblement d'autres sources). Elle n'a pas acheté de tritium auprès d'aucun fournisseur depuis plusieurs années. Sa seule source de tritium provient aujourd'hui de sources lumineuses au tritium gazeux récupérées, ou redondantes.

La société a recyclé du tritium contenu dans des feux de piste d'aéroport à un moment donné, mais sa source principale demeure les sources lumineuses au tritium gazeux contenues dans les panneaux de sortie. Elle ne prend que des tubes qui ont été démantelés et elle est très sélective dans les matières qu'elle accepte. Ce n'est pas là un procédé de manipulation des déchets, mais un procédé de recyclage et de réutilisation.

4.3.1 Description de l'équipement de récupération du tritium

Les tubes de verre de sources lumineuses au tritium gazeux sont placés dans une cuve en acier inoxydable d'environ 800 mm de longueur et de 300 mm de diamètre. Cette cuve est essentiellement une meule rotative, contenant des barres en acier inoxydable. La cuve est remplie de tubes de sources lumineuses au tritium gazeux dont le tritium est évacué à l'aide d'une pompe à vide Alcatel (pompe à palettes à huile); la cuve est ensuite remplie d'hélium gazeux. La cuve remplie est débranchée des appareils d'évacuation et est amenée à une machine rotative où elle subit une rotation pendant environ une heure. Les tubes en verre sont écrasés et le verre se transforme en une fine poudre. Cette cuve est retournée au système à vide et est raccordée à l'appareil de récupération, où elle est nettoyée à l'hélium gazeux, dans un lit d'adsorption pyrophorique à l'uranium. Le tritium est adsorbé sur le lit et l'hélium est déchargé dans le système de ventilation du site.

La quantité de tritium récupéré varie considérablement, selon le contenu des tubes. On a réalisé certains travaux dans le passé pour mesurer le taux de récupération du procédé. Cela peut être difficile, puisqu'il revient au client de préciser la teneur exacte en tritium de ses tubes. Lorsque les mesures ont été effectuées, les taux de récupération se situent entre 95 % et 98 %.



Dans un appareil de récupération du tritium, les tubes de verre de sources lumineuses au tritium gazeux sont placés dans une cuve en acier inoxydable contenant des barres en acier inoxydable. Cette cuve est essentiellement une meule rotative. Les tubes en verre sont écrasés et le tritium est récupéré. La quantité de tritium récupéré varie considérablement; lorsque les mesures ont été effectuées, les taux de récupération se situent entre 95 % et 98 %.

4.3.2 Conception

L'appareil de remplissage des tubes est constitué de tubes en acier inoxydable d'un quart de pouce d'épaisseur, dotés de raccords à compression métalliques scellés reliés à des vannes à soufflets et à d'autres jauges. De façon générale, l'appareil de remplissage est basé sur une technologie du vide classique. Les têtes de remplissage de l'appareil sont munies de joints en O doubles. Contrairement aux autres installations où l'on manipule du tritium, le lit d'adsorption utilisé immédiatement avant l'appareil de remplissage des tubes contient du palladium métal. L'utilisation d'un lit au palladium réduit la durée et la température à laquelle le lit doit être chauffé. Cela diminue les pertes par diffusion dans l'acier inoxydable du lit d'adsorption.

Lorsqu'on leur a demandé quels seraient les changements à apporter à l'appareil et s'il devait être reconstruit maintenant, les opérateurs de l'installation ont proposé quatre améliorations possibles :

- Utiliser des tubes de ⅜ de po dans l'appareil, afin d'en accroître le débit.
- Simplifier l'appareil de récupération du tritium : il pourrait être plus simple et plus petit.
- Utiliser une cuve de broyage plus grosse, pouvant accueillir davantage de tubes.
- Automatiser les vannes de l'appareil de remplissage.

4.3.3 Confinement

NTP a conçu le procédé de manière à réduire au minimum les pertes de tritium causées par la diffusion dans l'acier inoxydable des lits d'adsorption. Le lit d'adsorption à l'uranium et le lit au palladium comprennent un confinement primaire en acier inoxydable muni d'un radiateur électrique. L'ensemble est ensuite mis dans un contenant en acier inoxydable servant de confinement secondaire. L'espace entre le contenant intérieur et le contenant extérieur est évacué, puis rempli d'argon gazeux.

Un autre avantage de cette atmosphère inerte entourant le radiateur est son taux d'oxydation extrêmement faible. Seulement deux radiateurs ont dû être remplacés durant les vingt (20) années d'exploitation de l'installation.

En dehors des lits d'adsorption à double paroi, il n'y a pas de confinement secondaire dans l'installation. L'appareil de remplissage est installé sous une hotte de laboratoire de type classique.

4.3.4 Ventilation

Les pompes à vide et les hottes sont reliées au système de ventilation du laboratoire. Celui-ci mène à la cheminée principale de l'installation qui est également la cheminée principale du réacteur nucléaire « SAFARI ». Il s'agit d'une grande cheminée en béton de 70 mètres de hauteur et de 2,2 mètres de diamètre, avec une vitesse d'écoulement de 7,8 m/s.

4.3.5 Rejets dans l'environnement

Des mesures du tritium dans l'air sont effectuées près de la cheminée, à 4 mètres au-dessus du sol. Il y a une petite rivière près du site de Pelindaba, dans laquelle on prélève régulièrement des échantillons en amont et en aval du site. Les échantillons sont mélangés et mesurés tous les mois dans le cas des échantillons atmosphériques, et tous les trois mois dans le cas des échantillons prélevés dans la rivière. Les analyses sont réalisées à l'aide d'un comptage par scintillation en milieu liquide. La limite de détection se situe entre 20 et 30 Bq/l. Les résultats des échantillons sont généralement inférieurs à la limite de détection.

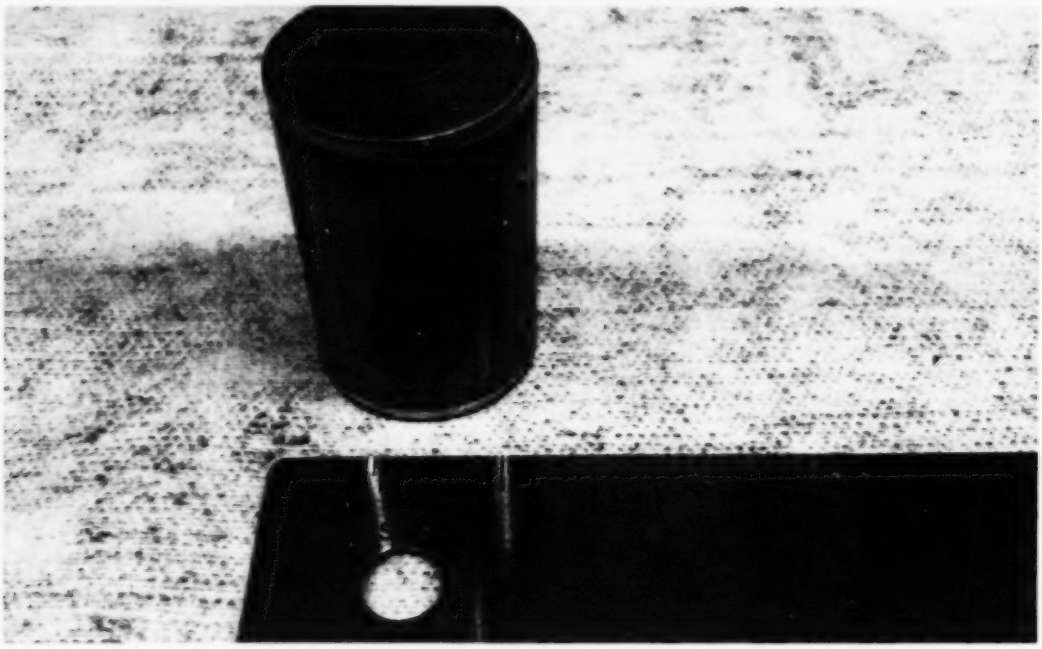
4.4 Mb-Microtec AG

Mb-Microtec est une société qui fabrique des sources lumineuses au tritium gazeux et qui est située à Niederwangen, près de Berne, en Suisse. Elle se spécialise dans la fabrication de sources lumineuses au tritium très fines pour les montres et les instruments. Le siège social de cette société se trouve dans une zone d'industrie « légère », entourée d'immeubles résidentiels. Elle occupe ce site depuis environ vingt (20) ans.

4.4.1 Description de l'équipement de manipulation du tritium

La majeure partie du tritium utilisé par Mb-Microtec vient d'EACL, au Canada et arrive dans des contenants Amersham standard. Le tritium est ensuite réparti dans de petits lits d'adsorption à l'uranium, utilisés dans différents procédés de production. Ces lits sont faits sur mesure par Mb-Microtec. Le contenant Amersham est raccordé au séparateur et chauffé de manière à dégager du tritium, à l'aide d'un radiateur électrique muni d'une bride de serrage.

Le séparateur peut s'adapter à 12 lits d'adsorption à l'uranium Mb-Microtec. Il est constitué d'un tube en acier inoxydable de ⅜ de po d'épaisseur, muni de raccords à compression. Cet appareil comporte des vannes à soufflets et des robinets à membrane utilisés sur les lits d'adsorption à l'uranium. On préfère les robinets à membrane, car ils offrent une meilleure étanchéité que les vannes à soufflets métalliques en cas de perte de poudre d'uranium aux lits de Mb-Microtec et de contamination au siège des joints.



Voici un exemple de lit d'adsorption au tritium. Celui-ci contient le tritium utilisé lors de la fabrication de sources lumineuses au tritium gazeux.

L'appareil se trouve sous une hotte ventilée avant rejet dans l'atmosphère qui est reliée au système de ventilation du bâtiment.

Les rejets de l'appareil sont évacués au moyen de pompes à spirales sans huile. Les rejets à l'orifice d'évacuation de pompe font ensuite l'objet d'un procédé de séparation du tritium, sous une hotte adjacente mais distincte. Ce procédé comprend l'oxydation sur oxyde de cuivre, suivi d'une adsorption sur un tamis moléculaire. Ces tamis sont modulaires et sont évacués dans une installation d'évacuation suisse. Aucune tentative n'est faite pour récupérer le tritium.

Toutes les pompes à vide utilisées dans l'installation sont des pompes à spirales sans huile. Les rejets aux orifices d'évacuation de toutes les pompes sont dirigés vers le procédé d'oxydation et les tamis moléculaires mentionnés précédemment. L'appareil de remplissage des tubes comprend des conduites en acier inoxydable, rattachées à l'appareil grâce à des raccords à compression. Les vannes sont, une fois de plus, des vannes à soufflets.

4.4.2 Conception

Les appareils de manipulation du tritium comportent de l'équipement à vide classique. La majeure partie des canalisations sont rattachées à l'équipement grâce à des raccords à compression et chaque appareil installé sous une hotte distincte, qui est reliée au système de ventilation du bâtiment. Les dispositifs permettant de rediriger les rejets aux orifices d'évacuation des pompes à vide vers un système d'oxydation du tritium et vers le tamis moléculaire sont des changements récents apportés à la conception. Ces changements avaient pour but de réduire les rejets de tritium dans l'atmosphère de façon mesurable.

4.4.3 Containment

Le confinement primaire est basé sur une technologie du vide de grande qualité. Il n'y a pas de confinement secondaire sur l'équipement ou les appareils.

4.4.4 Ventilation

Le système de ventilation du laboratoire permet cinq changements d'air par heure. L'air du système de ventilation est évacué par deux cheminées verticales installées sur le toit. L'une a une hauteur d'environ 2,5 mètres et l'autre une hauteur d'environ 5 mètres. Il n'y a pas de système de réduction des émissions dans le système de ventilation, sauf le système d'évacuation des pompes à vide mentionné précédemment.

4.4.5 Rejets dans l'environnement

Les pertes de tritium dans l'atmosphère correspondent à environ 0,4 % de la production de tritium. Cela représente environ 30 térabecquerels par année. Les pertes dans les égouts correspondent à 0,0001 % de la production. On effectue des mesures courantes de l'air, des eaux de surface et des eaux de pluie autour de l'installation. La concentration de tritium dans l'air à une distance de 200 mètres du bâtiment se situe entre 2 et 14 Bq/m^3. La concentration maximale de tritium dans les eaux de surface est d'environ 30 Bq/l. La concentration de tritium dans l'eau de pluie à 300 mètres au sud-est se situe entre 20 et 400 Bq/l et à 320 mètres au nord-est, elle se situe entre 80 et 1 000 Bq/l.

5 EXAMEN DES MEILLEURES PRATIQUES

Dans la présente section, on examine l'information obtenue auprès de différentes sources et l'on identifie les problèmes courants. Toutes les installations appliquent des procédés ou possèdent une expérience qui s'avère valable quant à l'identification des meilleures pratiques.

5.1 Confinement

Toutes les sociétés examinées dans le présent document utilisent un confinement primaire de haute qualité. De l'équipement à vide de haute qualité est disponible sur le marché et celui-ci est utilisé avec succès depuis de nombreuses années.

L'utilisation d'un confinement secondaire n'est pas courante dans le traitement du tritium gazeux. Cela s'explique peut-être par le fait que lorsqu'une fuite se produit pendant le procédé de production, elle peut de toute façon être identifiée immédiatement. Dans le procédé de fabrication des sources lumineuses au tritium gazeux, la perte de vide est considérée comme la première indication d'une fuite. Celle-ci sera rapidement suivie d'une alarme du système de surveillance du tritium gazeux dans le système de ventilation. Les installations de ce genre peuvent être arrêtées, réparées et remises en service rapidement, en posant un risque minimal pour l'exploitant.

On a recours au confinement secondaire seulement lorsque de très grandes quantités de tritium gazeux sont manipulées. Au Canada, mentionnons à titre d'exemple l'installation de détritiation de Darlington et le Laboratoire de distribution de tritium d'EACL, à Chalk River. Ces deux installations transfèrent des pétabecquerels ($1,0 \times 10^{15}$) de tritium à la fois. Elles possèdent toutes deux des boîtes à gants remplies de gaz inerte et des systèmes de récupération intégrés du tritium. L'avantage des boîtes à gants sous gaz inerte est que le tritium peut être récupéré alors qu'il passe de l'air de la boîte à gants vers un lit d'adsorption.

Bon nombre d'ingénieurs estiment que le confinement secondaire ne devrait être utilisé que pour les opérations où il y a un besoin réel ou un risque quantifiable.

5.2 Lits d'adsorption à double paroi

NTP Radioisotopes est la seule société qui utilise couramment des lits d'adsorption à double paroi. Il s'agit là d'un bon exemple de confinement secondaire et de système de réduction ciblée des émissions.

Le tritium gazeux, comme l'hydrogène gazeux, diffuse dans l'acier inoxydable à des températures élevées. Le bâti des lits d'adsorption à l'uranium est généralement constitué d'acier inoxydable. Ces lits sont chauffés à plus de 400 °C plusieurs fois par année. On estime, dans l'industrie du tritium, qu'il y a des rejets chroniques de tritium à cause de ces lits, par diffusion.

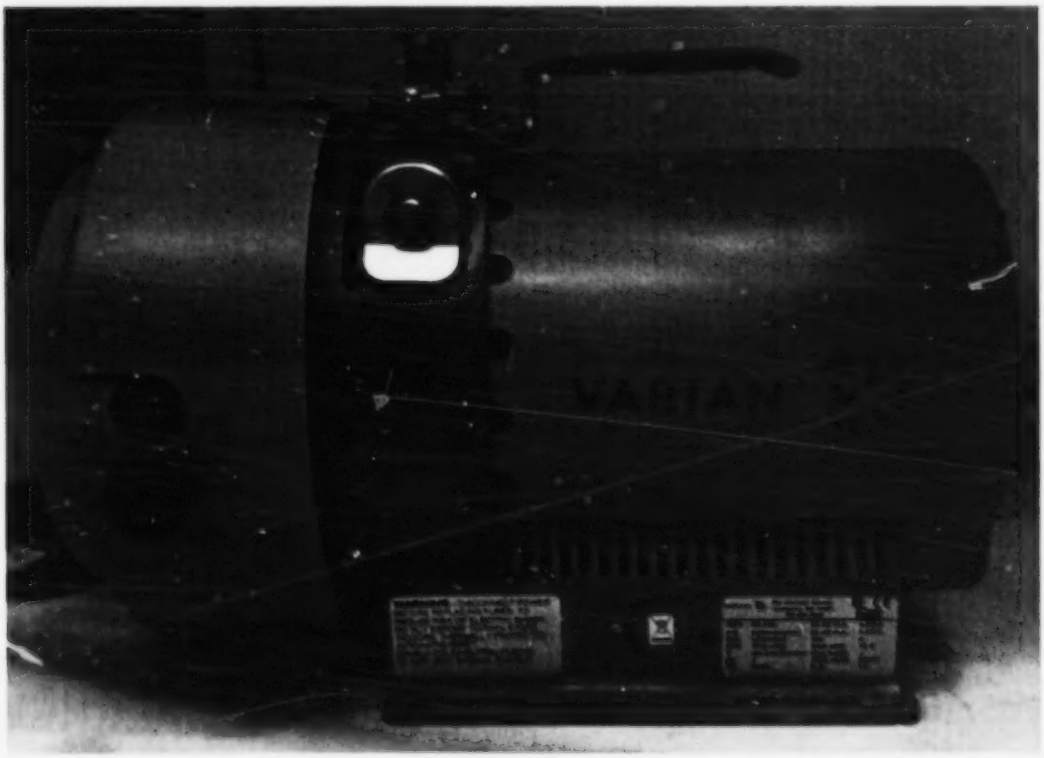
Un lit d'adsorption à double paroi est un exemple de confinement secondaire. Tout le tritium qui traverse par diffusion le confinement primaire demeurera dans l'espace entre les deux contenants; l'espace entre les deux contenants est rempli d'un gaz inerte.

Le lit d'adsorption de NTP est chauffé à l'aide d'un radiateur à bride de serrage. Ce lit, auquel est attaché un radiateur, est placé à l'intérieur d'un contenant en acier inoxydable et scellé. L'espace entre les deux contenants est rempli d'argon gazeux. Tout le tritium qui traverse par diffusion le confinement primaire demeurera dans l'espace entre les deux contenants, et il peut être éliminé périodiquement et recueilli sur un autre lit d'adsorption du tritium. Un autre avantage du système est qu'il n'y a pas d'oxydation des radiateurs électriques à bride de serrage. On ne dénombre que deux défaillances en vingt (20) ans.

Un inconvénient du système est que le lit d'adsorption du tritium, qui a normalement la taille d'une tasse à thé, devient aussi gros qu'une boîte d'un gallon de peinture. Il est ainsi plus difficile à réintégrer dans l'équipement de traitement du tritium existant. Cependant, on pourrait l'intégrer à l'étape de la conception d'une nouvelle installation.

5.3 Pompes à vide

Il existe de nombreux types de pompes à vide de laboratoire disponibles sur le marché. La plupart d'entre elles sont utilisées dans les installations de tritium examinées dans le présent rapport. Les pompes à palettes à huile demeurent les plus adaptables, et sont probablement fiables pour la plupart des applications. Toutefois, elles produisent de l'huile contaminée. S'il y a une voie d'évacuation pour cette huile, alors on prévoit l'utilisation d'une source de vide fiable. Ces pompes génèrent des rejets qui contiennent des quantités trace d'huile. Les orifices d'évacuation de toutes les pompes à vide semblent être une source mesurable des rejets de tritium dans l'environnement. Pour cette raison, un certain nombre de sociétés ont envisagé d'utiliser des systèmes de réduction des émissions aux orifices d'évacuation des pompes. Dans ce cas, les pompes à spirales sans huile sont préférées, car leurs rejets sont exempts de quantités trace d'huile – ce qui peut ralentir le procédé choisi d'extraction du tritium. On commence à s'apercevoir que les concentrations de HTO dans les rejets des pompes sans huile sont beaucoup plus faibles. Si cela est confirmé, on pourrait comprendre l'utilisation de plus en plus grande de ce type de pompe à vide.



Les pompes à spirales créent une dépression dans l'appareil de remplissage. Les pompes à spirales sans huile sont préférables, car leurs rejets sont exempts de quantités trace d'huile, ce qui peut ralentir le procédé choisi d'extraction du tritium.

5.4 Technologie du vide

Toutes les installations où l'on manipule du tritium gazeux utilisent une technologie à vide disponible sur le marché et une technologie à vide poussé. Il existe plusieurs sociétés dans le monde qui produisent ce type d'équipement à vide. Il n'a jamais été précisé qu'un fabricant était meilleur qu'un autre. L'une des principales différences entre les diverses installations est l'utilisation de raccords à compression ou de raccords soudés sur les canalisations à vide. Selon l'avis des experts techniques consultés dans le cadre de cette évaluation, les canalisations soudées sont préférables aux autres, car elles sont plus résistantes et moins susceptibles de se briser. Toutefois, les canalisations assemblées grâce à des joints à compression sont couramment utilisées et comportent des joints adéquats. Elles sont également plus faciles à modifier qu'un système soudé. De façon générale, les appareils utilisant le tritium munis d'équipement à vide et assemblés en suivant les instructions du fabricant ou les codes appropriés de l'Association canadienne de normalisation (CSA) offriront un confinement primaire de haute qualité.

5.5 Pertes dues aux fuites

L'hydrogène gazeux est difficile à confiner parce qu'il est constitué de petites molécules très énergétiques. Toutefois, des technologies et de l'équipement à vide de bonne qualité conviennent pour cette tâche. Par ailleurs, il n'y a pas de diffusion de l'hydrogène à travers les métaux – comme l'acier inoxydable – à des températures et des pressions élevées. Par conséquent, deux préoccupations importantes existent en ce qui a trait à la gestion des fuites. D'abord, il y a le risque de pertes aiguës de confinement primaire, à cause de l'usure, de la fatigue ou d'une défaillance. Cela peut se produire dans n'importe quelle partie du système de manipulation du tritium. Ensuite, il y a les rejets chroniques qu'on estime se produire en provenance des composants qui contiennent du tritium gazeux à des températures et des pressions élevées.

Un certain nombre de sociétés ont précisé que la première indication d'une fuite dans l'équipement de traitement à vide est la perte de vide. Celle-ci est généralement suivie, quelques secondes plus tard, de concentrations élevées de tritium enregistrées dans les instruments de surveillance du tritium du système de ventilation. Les exploitants peuvent, par conséquent, identifier et fermer leurs appareils, afin d'isoler les fuites de manière efficace. La possibilité de perdre de grandes quantités de tritium justifie parfois le besoin d'un confinement secondaire des gaz inertes. C'est justement le cas à l'installation de détritiation de Darlington et au Laboratoire de tritium d'EACL, à Chalk River.

Plusieurs sociétés ont parlé des pertes chroniques de tritium aux parois des lits d'adsorption à l'uranium. L'information sur la diffusion de l'hydrogène et du tritium à travers l'acier inoxydable est documentée, et des calculs peuvent être faits pour estimer l'ampleur des rejets. Cependant, aux fins du présent rapport, aucune société ne nous a fourni de formule empirique.

Le personnel du Laboratoire de tritium de Chalk River estime que la diffusion du tritium en provenance des lits d'adsorption contribue dans une large mesure à la concentration de tritium dans la boîte à gants du confinement secondaire. L'importance de la contribution n'est cependant pas quantifiée.

L'approche opérationnelle visant à réduire ces pertes chroniques consiste à réduire au minimum la durée et la température du procédé de chauffage dans le but de rejeter la quantité requise de tritium gazeux.

5.6 Pertes dues à la purge des canalisations

Certaines installations ont purgé des canalisations ou dirigé leurs rejets directement dans le système de ventilation, sous la hotte. Il ne s'agit pas d'une « bonne pratique ». Il est possible de concevoir des appareils de manipulation du tritium ayant pour fonction d'évacuer le tritium de toutes les cuves et de toutes les canalisations en le recueillant sur des lits d'adsorption. On peut faire cela sans procéder à une purge additionnelle des gaz inertes.

Lorsqu'il est impossible de récupérer le tritium des sections de conduites, celles-ci devraient être conçues de manière à être les plus petites possible. Des travaux ont été réalisés en ce sens par des fabricants de sources lumineuses au tritium gazeux au Canada et à l'étranger.

5.7 Réduction des émissions

Lors de discussions avec des ingénieurs qui travaillent dans les sociétés mentionnées dans le présent rapport, on s'est entendu sur le fait que le meilleur endroit pour mettre en place une technologie de réduction des émissions était le plus près possible de la source de la fuite ou du rejet. Il convient de noter que dans la partie portant sur la ventilation (section 5.8), on ne fait mention d'aucun système de réduction des émissions aux cheminées.

On donne plusieurs exemples de systèmes de réduction des émissions de tritium qui sont utilisés dans les installations faisant l'objet du présent rapport. Toutes les boîtes à gants sous gaz inerte qui sont utilisées dans les installations sont examinées dans le présent rapport. Toutes les boîtes à gants contiennent un système d'adsorption de gaz, qui utilise des pompes de recirculation et des lits d'adsorption. Certaines conduites et certains systèmes de purge des gaz inertes utilisent également un lit d'adsorption qui élimine le tritium.

À titre d'exemple de système de réduction des émissions visant à réduire les rejets chroniques, mentionnons le système d'adsorption à oxydation de rejets de l'équipement à vide et les tamis moléculaires de Mb-Microtec. De même, des systèmes d'oxydation et de condensation de la vapeur d'eau sont utilisés à l'installation de détritiation de Darlington et à l'installation de GE Healthcare. Ces deux installations offrent l'avantage de recycler l'eau condensée et de la remettre dans le procédé.

5.8 Ventilation

Le système de ventilation des installations de manipulation du tritium a pour but de protéger les travailleurs contre les rejets transitoires de tritium dans la zone de travail. Des taux différents de renouvellement d'air recommandés existent dans divers pays. Les installations qui possèdent de l'information spécifique sur le taux de renouvellement de l'air font état de taux qui se situent entre 5 et 15 changements d'air par heure. Les codes et les lignes directrices nord-américaines relatifs aux laboratoires de radiochimie recommandent 8 à 10 changements d'air par heure, avec un minimum de 6. Par conséquent, une norme minimale appropriée pour les installations où l'on manipule du tritium serait de 6 changements d'air par heure.

Les installations nucléaires de plus grande taille ont des systèmes de ventilation qui recueillent l'air dans un certain nombre de zones et qui le déchargent dans l'environnement par une cheminée verticale. Aucun des installations faisant l'objet du présent rapport ne possède d'équipement de réduction des émissions de tritium aux points de rejet des cheminées.

5.9 Conception des points de rejet

Le point de rejet atmosphérique dans tous les cas est une cheminée verticale. La hauteur des cheminées varie entre 9 et 70 mètres. Dans une installation de tritium, l'efficacité d'une cheminée à disperser l'air rejeté peut être déterminée en mesurant le tritium gazeux et la vapeur d'eau dans l'air. Les installations ayant des cheminées de plus de 40 mètres de hauteur, avec le point de décharge nettement au-dessus de la ligne de toiture, ont mesuré des concentrations de tritium dans l'air et dans l'eau de pluie qui sont très faibles. Une quantité considérable de renseignements sur la conception des cheminées peut être obtenue auprès de certaines organisations comme l'American Society of Heating, la Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), l'American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) et l'Environmental Protection Agency des États-Unis. Ces organisations mettent l'accent sur l'importance d'avoir des cheminées suffisamment hautes pour éviter le rejet de gaz dans les zones de recirculation autour des bâtiments.

Le *Code canadien du travail* et le ministère ontarien du Travail recommandent de respecter les normes et les guides ASHRAE et ACGIH en ce qui a trait à la santé et à la sécurité dans les installations industrielles.

Il est peu probable que certaines des cheminées plus petites mentionnées dans le présent rapport soient conformes aux normes de hauteur précisées recommandées par ces organisations.

5.10 Récupération du tritium

Deux installations d'exploitation qui procèdent à la récupération du tritium ont été évaluées dans le présent rapport, notamment l'installation de détritiation de Darlington et l'installation de radio-isotopes de NTP. L'installation de GE HealthCare n'est pas encore opérationnelle, car la mise en service n'est pas terminée.

L'installation de détritiation de Darlington illustre le caractère pratique de la manipulation d'une très grande quantité de matières contaminées au tritium et de l'extraction d'une petite quantité massique de tritium gazeux. L'extraction du tritium contenu dans des sources lumineuses au tritium gazeux désuètes à l'installation de NTP est tellement réussie qu'ils n'achètent plus de tritium gazeux pour fabriquer de nouvelles sources lumineuses. Le contraste dans les technologies employées par ces diverses installations est évident – l'une d'elles est une installation contrôlée très grande et complexe et l'autre est très petite et utilise un procédé simple. Ce qui est commun aux deux est qu'elles sont conçues et adaptées à des matières de charge bien caractérisées.

5.11 Stockage du tritium

Au Canada, le tritium est adsorbé dans des lits d'adsorption au titane métal en vue du stockage à long terme. Cette opération est réalisée à l'installation de détritiation de Darlington. La poudre d'uranium métal est largement utilisée dans les lits d'adsorption destinés à l'industrie du tritium. Il y a également d'autres alliages métalliques disponibles pour des applications spécifiques. La pratique actuelle qui consiste à utiliser des lits d'adsorption à l'uranium n'a jamais été remise en cause, ni au Canada ni à l'étranger. L'utilisation de lits d'adsorption à l'uranium destinés au stockage du tritium dans les installations de production peut être considérée comme la meilleure pratique.

5.12 Mesure du rendement

Il convient d'encourager les meilleures pratiques au sein de l'industrie canadienne de manipulation du tritium. Cependant, pour déterminer quelle est la meilleure pratique, il est nécessaire d'avoir des mesures quantifiables. Historiquement, la dose de rayonnement reçue par les travailleurs et par le public était le paramètre déterminant pour un rendement acceptable. En soi, il s'agit d'une mesure réussie, mais cette approche a donné lieu à des questions de contamination environnementale et à des cas de non-conformité à *LSRN* et à ses règlements. En outre, cela n'a pas encouragé l'industrie à améliorer continuellement son rendement en matière d'exploitation. L'une des raisons expliquant cet écart est la manière dont la dose reçue par le public est calculée. Chaque groupe critique autour d'une installation est unique et, par conséquent, il n'est pas vraiment approprié de comparer la dose calculée reçue par le public dose sur un site avec un autre.

Une méthode de mesure plus appropriée pour évaluer le rendement d'une installation de manipulation du tritium serait une méthode qui permet une comparaison directe entre deux utilisateurs.

En produisant ce rapport, plusieurs ensembles de données provenant des installations individuelles ont été examinés. Il a été possible de calculer les pertes de tritium dans l'environnement pour des procédés unitaires individuels et pour le rendement opérationnel global. Voici un résumé des pertes signalées ou estimées, tel qu'indiqué dans le texte du présent rapport :

- Transfert du tritium entre deux lits d'adsorption : pertes de 0,01 %
- Procédés complexes d'extraction du tritium : pertes de 0,03 %
- Production de sources lumineuses au tritium gazeux : pertes de 0,4 %

Au Canada, il serait possible d'établir une mesure du rendement qui exigerait des titulaires de permis qu'ils signalent le pourcentage de pertes dans l'environnement et de les transférer à une installation de traitement des déchets. Dans le cas des nouvelles installations, cette mesure du rendement pourrait être utilisée comme paramètre de conception. Il convient de noter que les titulaires de permis tiennent à jour des inventaires du tritium dans le cadre de leurs procédés de gestion interne et qu'ils indiquent cette information dans leurs rapports de conformité annuels.

Le fait de disposer d'une méthode qui mesure d'autres aspects du rendement peut favoriser les améliorations continues afin de réduire les pertes de tritium au sein de l'industrie.

5.13 Rejets de tritium dans les égouts

Dans toutes les installations qui ont été visitées durant cette évaluation, très peu de rejets directs d'eau tritiée ont été observés dans les égouts ou les eaux de surface. La source primaire d'eau tritiée dans les égouts provenait de la décontamination des surfaces, notamment par le nettoyage général des surfaces par les services de conciergerie et la lessive.

Dans le passé, GE Healthcare générait des rejets liquides importants dans les eaux de surface et les égouts. Cette pratique a cessé aujourd'hui, suite à la pression réglementaire, et les déchets liquides sont entreposés sur le site en attendant la construction d'une installation d'extraction du tritium.

6 CONCLUSION

Cet examen des installations de manipulation du tritium montre que les pratiques canadiennes sont comparables à ce qui se fait à l'étranger. Certaines pratiques spécifiques, si elles sont adoptées, pourraient permettre de réduire encore plus les rejets de tritium dans l'environnement. Voici une liste des bonnes pratiques, telles qu'identifiées par l'examinateur :

1. De l'équipement à vide à haut rendement doit être utilisé dans les installations où l'on manipule du tritium gazeux.

2. Un confinement primaire de haute qualité est le moyen de contrôle le plus important pour la manipulation du tritium.

3. Les lits d'adsorption à l'uranium servant au stockage opérationnel du tritium gazeux sont largement utilisés et sont considérés comme une bonne pratique.

4. Les lits d'adsorption au titane sont considérés comme une bonne pratique pour le stockage à long terme du tritium gazeux.

5. Les rejets intentionnels de tritium gazeux par les canalisations et les cuves ne sont pas une bonne pratique. Il est préférable d'utiliser des lits à adsorption directe ou de procéder à la purge et à la captation des gaz inertes sur des lits d'adsorption.

6. L'utilisation de pompes à spirales sans huile facilite l'application de la technologie connexe aux orifices de sortie. Il existe des preuves limitées à l'effet qu'elles peuvent réduire la concentration du HTO rejeté aux orifices de sortie.

7. L'élimination du tritium gazeux et du HTO à l'orifice d'évacuation des pompes à vide doit être considérée comme une bonne pratique, en autant qu'il existe un traitement ou une voie d'évacuation pour le tritium.

8. Le confinement secondaire des lits d'adsorption permet de réduire les rejets chroniques, particulièrement dans le cas des lits qui sont utilisés à des températures élevées pendant de longues périodes.

9. L'utilisation la plus efficace dans le cas des technologies de réduction des émissions se fait au point de rejet.

10. Les systèmes de ventilation doivent être munis de points de rejets conçus adéquatement (cheminées) afin d'assurer une bonne dispersion du tritium gazeux et de la vapeur d'eau tritiée.

7 GLOSSAIRE

À des fins de simplicité, certains termes sont définis en langage clair et peuvent différer des définitions normalisées.

adsorption	Phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur les surfaces solides d'une matière. La désorption, quant à elle, est l'abandon par un solide des gaz adsorbés. Lorsque des gaz sont adsorbés sur la face interne des conduites, ce procédé est souvent appelé « dégazage ».
ALARA	Principe de radioprotection, selon lequel on doit maintenir les expositions *au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre* en deçà des limites réglementaires, compte tenu de facteurs économiques et sociaux.
barboteur	Lorsque de l'air contenant de la vapeur d'eau tritiée est purifié par barbotage, l'eau tritiée est recueillie par le barboteur. Ce procédé est utilisé pour échantillonner de l'air en vue de déterminer la concentration en eau tritiée. Il arrive souvent que deux ou trois barboteurs sont branchés en série, afin d'assurer une bonne collecte. Le tritium gazeux peut être échantillonné à l'aide de barboteurs s'il est d'abord converti en eau tritiée en ayant recours à la chaleur ou à un catalyseur.
becquerel	Unité d'activité, soit la vitesse à laquelle une substance radioactive se désintègre. 1 Bq = 1 transformation ou désintégration par seconde.
boîte à gants	Boîte scellée munie de fenêtres, utilisée pour la manipulation de matières dangereuses. Des gants de caoutchouc sont fixés à la paroi interne de la boîte et permettent à une personne se trouvant à l'extérieur de la boîte de pouvoir travailler à l'intérieur de celle ci. Les gaz contenus à l'intérieur de la boîte peuvent être contrôlés; ils peuvent en être retirés et remplacés par un autre gaz, au besoin.
cheminée	Point de rejet pour le gaz, l'air ou les particules fines, qui permet au flux de déchets de se mélanger à l'air environnant, afin de se diluer et de se disperser. Les cheminées sont généralement beaucoup plus élevées que les bâtiments avoisinants et pointent vers le haut.

comptage par scintillation en milieu liquide	Le tritium est un émetteur bêta très faible. On mesure généralement son activité en le mélangeant avec des produits chimiques qui émettent de la lumière lorsqu'ils entrent en contact avec le rayonnement bêta. L'échantillon de tritium et le mélange de produits chimiques émettant de la lumière sont placés à l'intérieur d'un instrument de mesure, appelé détecteur à scintillation. Celui-ci est étalonné pour déterminer, par comptage, l'activité du tritium contenu dans l'échantillon.
contenant Amersham	Au Canada et ailleurs dans le monde, le tritium est souvent transporté dans un lit de stockage, portant le nom de contenant Amersham AY 0666. On l'appelle également contenant de transport Amersham ou lit Amersham. Il s'agit d'un cylindre en acier inoxydable de la taille d'une grande tasse à café. Lorsqu'il est plein, il peut contenir jusqu'à $1,85 \times 10^{15}$ becquerels.
eau tritiée	L'eau ordinaire est constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène et sa formule chimique est H_2O. Si l'un ou les deux atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes de tritium, l'eau est appelée eau tritiée et aura comme formule chimique HTO, ou T_2O.
hotte	Enceinte ventilée, à l'intérieur de laquelle l'équipement est placé et qui, au besoin, peut être manœuvrée à la main. Elle n'est pas scellée, mais possède de rares ouvertures à travers lesquelles l'air est aspiré de manière continue, ce qui permet de limiter les fuites de matières dangereuses hors de la salle dans laquelle se trouve la hotte.
isotopes de l'hydrogène	Les nucléides sont des *isotopes* d'un même élément dont les noyaux possèdent le même nombre de protons, mais pas le même nombre de neutrons. L'hydrogène possède trois isotopes : l'hydrogène 1 (hydrogène commun, dont le noyau compte un seul proton), l'hydrogène 2, également appelé deutérium (un proton et un neutron) et l'hydrogène 3, également appelé tritium (un proton et deux neutrons).
lit d'adsorption	Métal, ou alliage métallique qui adsorbe des gaz et qui, souvent, réagit avec eux pour former des composés solides. Ils sont utilisés pour éliminer les traces de gaz non requis hors du système. Leur conception ressemble souvent à celle des lits d'adsorption de tritium (voir ci-après).

lit de stockage du tritium	Certains métaux ont la capacité d'adsorber l'hydrogène gazeux en surface et de former des composés solides (appelés *hydrures* dans le cas de l'hydrogène ou *tritiures* dans le cas du tritium). Lorsqu'ils sont chauffés, ces composés libèrent de l'hydrogène ou du tritium gazeux. Ces métaux constituent donc des matériaux de stockage adéquats pour l'hydrogène et le tritium gazeux. Dans le cas du stockage du tritium gazeux, des métaux finement divisés sont utilisés dans des contenants en acier inoxydable. La taille de ces lits de stockage varie de la taille d'un coquetier à celle d'un tuyau de drainage de deux (2) pieds de longueur. Les lits de stockage de tritium sont appelés par divers exploitants « lits d'adsorption », « pyros », « lits pyrophoriques d'adsorption à l'uranium » et « adsorbeurs ». Les métaux les plus fréquemment utilisés pour le stockage du tritium gazeux sont l'uranium, le titane, le palladium et les alliages de vanadium et de fer.
modérateur du réacteur	Composante essentielle d'un réacteur nucléaire, le modérateur sert à ralentir ou à « modérer » les neutrons produits par le combustible nucléaire. Dans les réacteurs CANDU, on utilise de l'eau lourde comme modérateur. L'eau lourde est de l'oxyde de deutérium.
permis d'installation de catégorie 1B	Après les permis d'exploitation de réacteurs de puissance, c'est le deuxième niveau le plus élevé parmi les permis d'exploitation délivrés en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*. Les installations de traitement du tritium qui manipulent plus de 10^{15} becquerels par année se situent dans cette catégorie de permis.
plénum	Le plénum, ou chambre de répartition d'air, fait partie d'un système de ventilation en cascade. Dans un tel système, il est nécessaire de contrôler le débit de l'air entrant. On utilise des conduites de ventilation séparées munies de ventilateurs appropriés et de déflecteurs, au besoin. Si cela n'est pas fait, des zones ou des salles pourraient recevoir trop d'air ou pas assez. Les portes pourraient ne pas se fermer ou ne pas pouvoir s'ouvrir. Le débit d'air contaminé pourrait être inversé.
point de rejet	Endroit où les déchets sont rejetés dans l'environnement suite à un procédé. Cela peut être une cheminée, un conduit de fumée, etc. Dans le cas des liquides, il peut s'agir d'une conduite menant à une rivière, à un lac ou à la mer.

pompes à vide	Il existe deux types de pompes à vide utilisées couramment dans l'industrie du traitement du tritium : la pompe à palettes à huile et la pompe à spirales sèche. La pompe à palettes à huile est utilisée dans l'industrie du vide depuis une centaine d'années. Elle est fiable et facile à entretenir. Cependant, l'huile entre en contact avec le tritium et devient lourdement contaminée. Cela pose un danger durant l'entretien et l'évacuation de l'huile contaminée devient plus difficile. La pompe à spirales sèche offre un rendement semblable à celui des pompes à huile sans le problème de la manipulation et de l'évacuation de l'huile contaminée.
pompes turbo-moléculaires	Dans les cas où un vide extrêmement faible est requis, des pompes additionnelles sont nécessaires pour prendre le relais lorsque les pompes à vide standard atteignent leurs limites. La pompe turbomoléculaire est un exemple de ce genre de pompe. Elle imprime une quantité de mouvement aux molécules de gaz contenues dans le vide.
procédé de réduction des émissions	Procédé visant à diminuer, réduire au minimum ou éliminer un contaminant à un point de rejet.
système de de ventilation en cascade	Un système de ventilation dans une installation peut être conçu de manière à faire circuler l'air des zones non contaminées vers les zones où la contamination est plus grande (ou dans lesquelles il y a un risque de contamination accrue). Cela signifie que tout rejet de substances dangereuses aura tendance à se déplacer vers les zones à contamination élevée ou à fort potentiel de contamination. Ce type de système de ventilation est souvent appelé système de ventilation en cascade (voir également plénum ou système à répartition d'air).
SAFARI	Réacteur de recherche de 20 MW en Afrique du Sud.
tamis moléculaire	Certains matériaux sont très efficaces pour éliminer les contaminants de l'air. Ils agissent comme un filtre chimique pouvant être adapté à des composés spécifiques contenus dans un flux gazeux. Dans ce cas, la vapeur d'eau est retirée de manière sélective.

tritium	Isotope radioactif de l'hydrogène, naturellement présent ou produit par l'activité humaine. Le tritium est un émetteur bêta (rayonnement ionisant). Le tritium est également produit dans les réacteurs nucléaires canadiens, comme sous-produit.
vanne à membrane	Type de vanne utilisée dans les systèmes à vide, qui repose sur une membrane de polymère servant de matière d'étanchéité.
vanne à soufflets	Type de vanne régulatrice de débit des gaz souvent utilisée dans les systèmes à vide ou lorsqu'on manipule des gaz dangereux. Les soufflets de la vanne sont scellés au corps de la vanne et au levier de commande de la vanne. Cela crée un confinement secondaire permettant d'éviter la perte de vide ou les fuites de gaz dangereux.

8 BIBLIOGRAPHIE

DOE Handbook. Preview on Tritium Safe Handling Practices.
U.S. Department of Energy FSC 6910: 1994.

Technologies for Mitigating Tritium Releases to the Environment.
Commission canadienne de sûreté nucléaire RSP-0179A, mars 2004.

Good Work Practices for Effective Tritium Management.
Commission canadienne de sûreté nucléaire RSP-0179B, mars 2004.

Mannone F. Safety in Tritium Handling Technology.
Nuclear Science and Technology Course. Publié par Klover Academic Publishers, 1993.

8H International Conference on Tritium Science and Technology.
Rochester New York: Septembre 2007.

Guide de conception des laboratoires de substances nucléaires et des salles de médecine nucléaire : document RD-52. Commission canadienne de sûreté nucléaire.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, (ACGIH).
Industrial Ventilation, a manual of recommended practice for design. 26ième éd., 2007.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
Handbook Fundamentals, 2001.

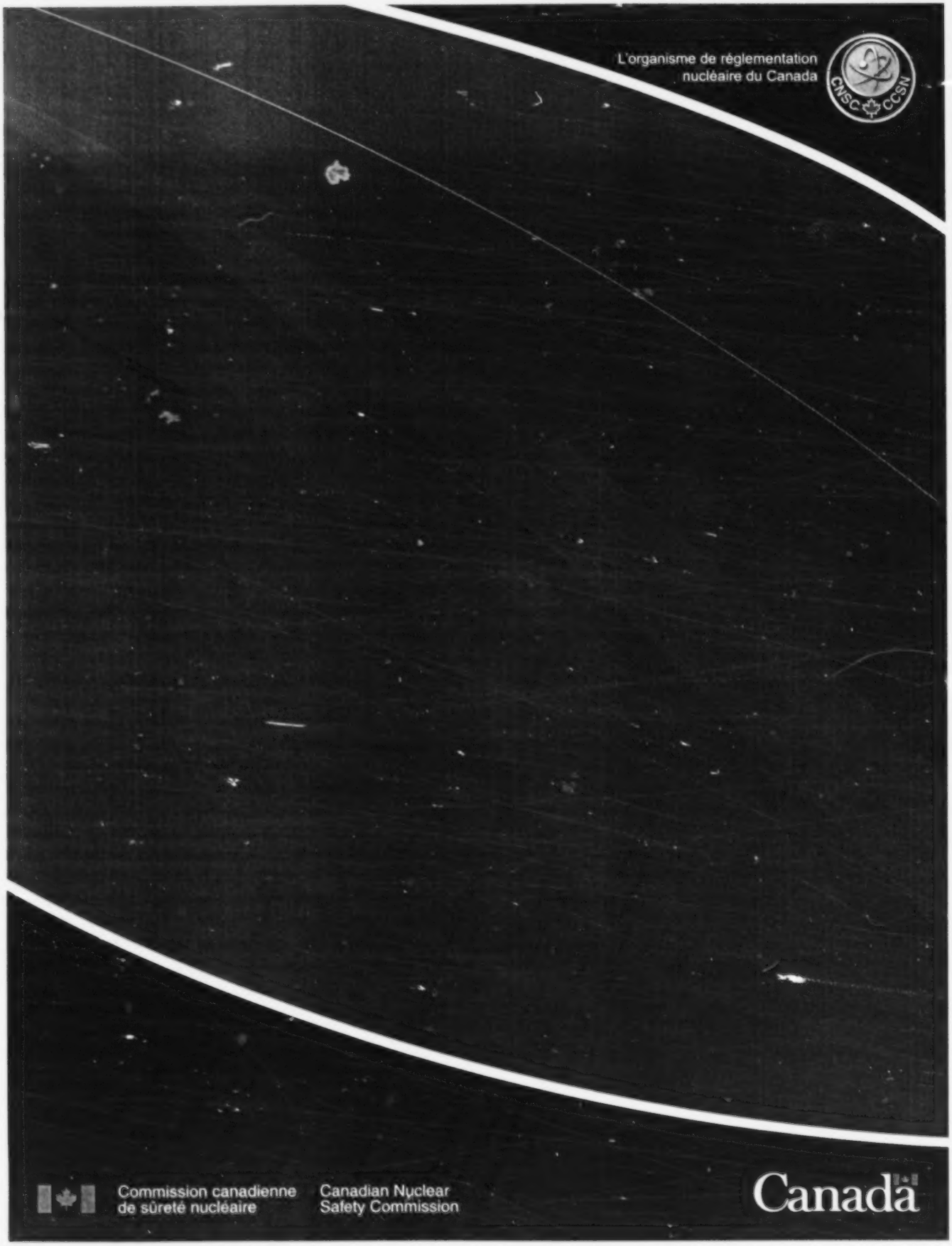
9 REMERCIEMENTS

Le présent rapport n'aurait pas pu être rédigé sans le consentement des sociétés suivantes qui ont partagé leur expérience avec la CCSN. Leur participation a été appréciée.

Nous aimerions particulièrement remercier les sociétés et organismes de réglementation de l'étranger qui nous ont permis d'accéder à leurs installations.

Sociétés canadiennes
OPG Darlington
Laboratoire de tritium de Chalk River (EACL)
Shield Source Inc.
SRB Technologies
Kinectrics
GE Hitachi Nuclear Energy Canada Inc.

Sociétés de l'étranger
GE Healthcare, Royaume-Uni
Mb-Microtec, Suisse
NTP Radioisotopes, Afrique du Sud


L'organisme de réglementation
nucléaire du Canada
CNSC CCSN
Commission canadienne
de sûreté nucléaire
Canadian Nuclear
Safety Commission
Canada